Natur und Mensch

I

Vols 1-4 Sub 36.—
27.—

THE UNIVERSITY
OF ILLINOIS
LIBRARY

500
N218
v.1

Return this book on or before the
Latest Date stamped below.

University of Illinois Library

NOV 12 1959

L161—H41

Natur und Mensch

Natur und Mensch

Die Naturwissenschaften und ihre Anwendungen

Herausgegeben von Dr. C. W. Schmidt

Gliederung des Werkes

Erster Band: **Weltraum und Erde,** bearbeitet von Dr. H. H. Kritzinger und Dr. C. W. Schmidt.

Zweiter Band: **Das Leben und seine Entwicklung,** bearbeitet von Prof. Dr. C. Schäffer, Prof. Dr. W. Gothan und Prof. Dr. E. Freiherr Stromer v. Reichenbach.

Dritter Band: **Der Mensch als Individuum und Rasse,** bearbeitet von Dr. F. Cappeller und Prof. Dr. G. Kraitschek.

Vierter Band: **Die angewandten Naturwissenschaften,** bearbeitet von Geh. Hofrat Prof. Dr. Otto Wiener, Prof. Dr. Hugo Kauffmann, Dr. H. H. Kritzinger, Geh. Bergrat Prof. Dr. K. Keilhack, Prof. Dr. O. Kende, Dr. W. Kotte, Prof. Dr. Fritz Lenz, Dr. H. Voelkel.

Natur und Mensch

Erster Band

Weltraum und Erde

Natur und Mensch

Die Naturwissenschaften und ihre Anwendungen

Herausgegeben von Dr. C. W. Schmidt

Erster Band

Weltraum und Erde

Berlin und Leipzig 1926

Walter de Gruyter & Co.

vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung :=: J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung
Georg Reimer :=: Karl J. Trübner :=: Veit & Comp.

Weltraum und Erde

Von

Dr. H. H. Kritzinger
und
Dr. C. W. Schmidt

Mit 408 Abbildungen im Text und 30 teils farbigen Tafeln

Berlin und Leipzig 1926
Walter de Gruyter & Co.
vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung :: J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung
Georg Reimer :: Karl J. Trübner :: Veit & Comp.

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten

Copyright by Walter de Gruyter & Co.
Berlin und Leipzig 1926

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Printed in Germany

Vorwort zum Gesamtwerk.

Die fortschreitende Spezialisierung der Naturwissenschaften macht es schon dem Forscher unmöglich, mehr als sein engeres Arbeitsgebiet zu beherrschen. Er muß sich zumeist mit einem Überblick über die benachbarten Zweige der Wissenschaft begnügen, der um so unvollkommener ist, je weiter diese vom Zentrum seiner eigenen Arbeit entfernt sind. Weit mehr noch ist heute dem gebildeten Laien die Umschau über die Naturwissenschaften erschwert.

Diese Spezialisierung, so notwendig sie auch an sich ist, hat noch einen weiteren Nachteil mit sich gebracht. War es früher möglich, die einzelnen Wissensgebiete miteinander in Beziehung zu setzen, so droht der modernen Forschung die Gefahr einer Vereinsamung, die das philosophische Weltbild ungünstig zu beeinflussen imstande ist.

Dem Gebildeten, der nach einer Weltanschauung strebt, ist mit dem Wissen von Einzeldingen nicht gedient, er will nur den Wissenschaften die leitenden Ideen entnehmen, aus denen er sein Weltbild dann zusammenzufügen vermag. Er will wissen, welche Bedeutung die einzelnen Zweige vor allem der Naturwissenschaften für ihn, für sein Leben und für seine Stellung zur Welt besitzen. Bei diesem Bemühen möchte „Natur und Mensch" Berater und Helfer sein. Die Beziehung zwischen Umwelt und Mensch, die Eingliederung des Menschen in das Naturganze, die Eingliederung des Naturganzen in das menschliche Leben: das ist der Grundgedanke dieses neuen Sammelwerks.

Nicht die Vollständigkeit von Handbüchern, nicht die Methodik der Lehrbücher darf und wird man von „Natur und Mensch" erwarten, vielmehr wird in anschaulichster Weise, unterstützt durch ein sehr reichhaltiges und vielfach neuartiges Bildermaterial, ein Überblick über die gesamten Naturwissenschaften und ihre Anwendungen gegeben, wobei sich die besten Kräfte in den Dienst der Sache gestellt haben.

So steht zu hoffen, daß das vierbändige Werk berufen sein wird, recht Vielen, die Belehrung und Erkenntnis suchen, ein treuer Weggenosse zu werden und ihnen behilflich zu sein, aus der Fülle der Probleme und Tatsachen das zu entnehmen, was der Entwicklung ihrer Lebens- und Weltanschauung zu dienen vermag.

Der Herausgeber.

943128

Vorwort zum ersten Band.

Der erste Band des Werkes „Natur und Mensch" behandelt den Weltraum und die Erde. Das Buch ist in drei große, nach außen nicht hervortretende Teile gegliedert. Der erste behandelt die Grundlagen, also den „Weltraum", „Die Erde als Himmelskörper", „Die Erdrinde und ihre Bestandteile" und „Die geologischen Kräfte", der zweite die Entwicklung, nämlich „Die Geschichte der Erde", und der dritte den heutigen Zustand, nämlich „Die Erde in der Gegenwart". Diese Dreiteilung in Grundlagen, Entwicklung und Zustand wird auch in den beiden nächsten Bänden durchgeführt werden.

Im einzelnen sei bemerkt, daß auch in den Unterabschnitten eine vom Üblichen abweichende Gliederung im Hinblick auf die besondere Aufgabe des Werkes sich als erwünscht herausstellte. Vollständigkeit wurde namentlich in den Abschnitten über Mineralogie und Gesteinskunde durchaus nicht erstrebt; hier wurde nur das Wesentliche behandelt. Die allgemeine Geologie wurde reichlicher bedacht, da ihr in erster Linie das Interesse weiterer Kreise gilt, hier ist auch ein besonders reiches Abbildungsmaterial beigegeben, als Ersatz für die Anschauung in der Natur, ohne die gerade dieser Zweig der Naturwissenschaften eigentlich nicht gelehrt werden kann.

Theoretische Betrachtungen wurden, ausgenommen im astronomischen und geophysikalischen Abschnitt, in denen man ihrer nicht entraten kann, nach Möglichkeit vermieden, und es wurde versucht, eine Darstellung zu finden, die zwar korrekt, aber doch so allgemeinverständlich gehalten ist, daß das Studium des Werkes auch an den abstrakten Stellen keine Schwierigkeiten bereiten dürfte.

Der Herausgeber.

Inhalt des ersten Bandes

Erster Teil: **Der Weltraum.** Von Dr. H. H. Kritzinger.

Seite

I. Wege zum Weltbild 3
II. Unser Standpunkt unter den Sternen 5
III. Mathematische Grundüberlegungen von Raum, Zeit, Kraft und von dem Ziel der Weltentwicklung 8
IV. Technische Werkzeuge des Astronomen 15
V. Die Erforschung der Fixsternwelt 20
VI. Veränderungen am Fixsternhimmel 25
VII. Stellarstatistik und Milchstraßenproblem 32
VIII. Kosmogonische Ausblicke 38
IX. Allgemeine Orientierung im Sonnenreich 44
X. Die Sonne 48
XI. Die sonnenähnlichen Planeten 56
a) Jupiter 56
b) Saturn 58
c) Uranus und Neptun 61
XII. Die erdähnlichen Planeten und das Problem der Bewohnbarkeit der Weltkörper 62
a) Venus 64
b) Mars 65
c) Merkur 70
d) Der Erdmond 71
XIII. Überbleibsel beim Weltenbau 75
a) Zodiakallicht 75
b) Intramerkurielle Planeten 75
c) Die kleinen Planeten 77
d) Kometen 78
e) Meteore 82
XIV. Die Ausbreitung des Lebens durch das Weltall 84

Zweiter Teil: **Die Erde als Himmelskörper.** Einführung in die Geophysik. Von Dr. C. W. Schmidt.

I. Die Gestalt der Erde 89
II. Masse und Dichte der Erde 93
III. Sternschnuppen und Meteoriten 96
IV. Die Wärme des Erdkörpers 98

Dritter Teil: **Die Erdrinde und ihre Bestandteile.** Grundzüge der Mineralogie und Gesteinskunde. Von Dr. C. W. Schmidt.

Seite

I. Die Zusammensetzung der Erdrinde 105

II. Allgemeine Mineralogie 107

A. Allgemeine kristallographische Eigenschaften der Mineralien 107
B. Allgemeine physikalische Eigenschaften der Mineralien 115
C. Allgemeine chemische Eigenschaften der Mineralien 118

III. Die wichtigsten Mineralien 119

A. Elemente 119
B. Schwefelverbindungen 128
C. Oxyde 130
D. Haloidsalze 136
E. Karbonate 140
F. Sulfate 144
G. Phosphate 145
H. Silikate 146
I. Harze 150

IV. Die wichtigsten Gesteine 152

A. Allgemeine petrographische Bemerkungen 152
B. Eigenschaften und Auftreten der wichtigsten Gesteine 159
a) Eruptivgesteine 159
b) Sedimentgesteine 171
c) Kristalline Gesteine 185

Vierter Teil: **Die geologischen Kräfte.** Grundzüge der allgemeinen Geologie. Von Dr. C. W. Schmidt.

I. Tektonik 189

II. Die endogenen Kräfte 202

A. Der Vulkanismus 202
B. Die Erdbeben 228
C. Gebirgsbildende Vorgänge 238

III. Die exogenen Kräfte 245

A. Die geologische Arbeit der Atmosphäre 246
B. Die geologische Arbeit des Wassers 253
a) Verwitterung, Grundwasser, Quellen 253
b) Die Bewegung des Wassers in den Flüssen 273
c) Die Arbeit des fließenden Wassers 276
d) Die Seen 298
C. Die geologische Arbeit des Eises 302
D. Die geologische Arbeit des Meeres 314
E. Die geologische Arbeit der Organismen 326

Fünfter Teil: **Die Geschichte der Erde.** Grundzüge der historischen Geologie. Von Dr. C. W. Schmidt.

Seite

I. Die azoische (archäische) Gesteinsgruppe 335

II. Die eozoische (archäozoische) Gesteinsgruppe 335

III. Die paläozoische (primäre) Formationsgruppe 336

A. Das Kambrium 337
B. Die Silurformation 339
C. Die Devonformation 345
D. Die Steinkohlenformation 349
E. Die Perm (Dyas-) formation 353

IV. Die mesozoische Formationsgruppe 359

A. Die Triasformation 360
a) Der Buntsandstein 361
b) Der Muschelkalk 362
c) Der Keuper 364
d) Die ozeanische Trias 365

B. Die Juraformation 368
a) Der schwarze Jura (Lias) 370
b) Der braune Jura (Dogger) 372
c) Der weiße Jura (Malm) 372

C. Die Kreideformation 375
a) Die untere Kreide in Nord- und Mitteleuropa 377
b) Die untere Kreide in Südeuropa 378
c) Die obere Kreide in Nord- und Mitteleuropa 378
d) Die obere Kreide in Südeuropa 381

V. Die neozoische Formationsgruppe 384

A. Die Tertiärformation 384
a) Das Alttertiär (Paläogen) 385
b) Das Jungtertiär (Neogen) 389

B. Die Quartärformation 392
a) Das Diluvium 392
b) Das Alluvium 405

Sechster Teil: **Die Erde in der Gegenwart.** Grundzüge der physischen Geographie. Von Dr. C. W. Schmidt.

I. Überblick über die Gesamterde 409

II. Die Lufthülle 414

A. Temperatur der Lufthülle 414
B. Die Winde 421
C. Das Wasser in der Atmosphäre 424
D. Das Klima 427

Seite

III. Das Meer 433
A. Die Meeresräume 433
B. Das Wasser des Meeres 438
C. Die Temperatur des Meeres 440
D. Die Eisbedeckung des Meeres 444
E. Die Wellen des Meeres 446
F. Die Gezeiten 450
G. Die Meeresströmungen 451

IV. Das Festland 456
A. Die Gebirge und Ebenen 458
B. Die Flüsse 469
C. Die Seen 471
D. Halbinseln und Inseln 476
E. Die Küsten 478

* * *

Erſter Teil

Der Weltraum

Grundzüge der Himmelskunde

Von Dr. H. H. Kritzinger

Gliederung des ersten Teiles

Seite

I. Wege zum Weltbild 3
II. Unser Standpunkt unter den Sternen 5
III. Mathematische Grundüberlegungen von Raum, Zeit, Kraft und von dem Ziel der Weltentwicklung . 8
IV. Technische Werkzeuge des Astronomen. 15
V. Die Erforschung der Fixsternwelt. 20
VI. Veränderungen am Fixsternhimmel 25
VII. Stellarstatistik und Milchstraßenproblem 32
VIII. Kosmogonische Ausblicke 38
IX. Allgemeine Orientierung im Sonnenreich 44
X. Die Sonne 48
XI. Die sonnenähnlichen Planeten 55
a) Jupiter 56
b) Saturn 58
c) Uranus und Neptun 61
XII. Die erdähnlichen Planeten und das Problem der Bewohnbarkeit der Weltkörper 62
a) Venus 64
b) Mars 65
c) Merkur 70
d) Der Erdmond 71
XIII. Überbleibsel beim Weltenbau 75
a) Zodiakallicht 75
b) Intramerkurielle Planeten 75
c) Die kleinen Planeten 77
d) Kometen. 78
e) Meteore. 83
XIV. Die Ausbreitung des Lebens durch das Weltall. . 84

I. Wege zum Weltbild.

Natur und Mensch in allen ihren Zusammenhängen zu umfassen, erscheint dem wissenschaftlich interessierten Leser sehnlich erwünscht — und dem Gelehrten, der mit den Ergebnissen auch nur eines kleinen Zweiges der Wissenschaften vertraut ist, als ein mit menschlichen Kräften in der Gegenwart durchaus unerreichbares Ziel.

Die Epoche eines Leibniz, eines Humboldt, die noch von sich sagen konnten, daß sie die Gesamtheit des akademischen Wissens ihrer Zeit vom Makrokosmos und Mikrokosmos in sich vereinigten — kann sie sich erneuern?

Und dennoch wäre es ein tragischer Gedanke, deswegen von einem Versuche grundsätzlich abzustehen, wenigstens einen Überblick des Wesentlichen zu erlangen und dem Worte der Manto zu folgen, das sie im zweiten Teil der Goetheschen Dichtung an Faust richtet:

„Den lieb ich, der Unmögliches begehrt."

Allerdings dürfen wir dabei nicht vergessen, daß derjenige, der zu diesem großen Bau die Steine heranschafft und sie zu einem hohen Dome schließlich zusammenfügt, zu jener Faustischen Einsamkeit verdammt ist, die sich mit dem „Vergeblich" eines Studiums abfinden muß, das nur Kenntnisse aufhäuft. Wir müssen es heute erleben, daß eine Zweigwissenschaft der Astronomie, die Meteorologie, durch die ungeheuere Fülle der Millionen und Abermillionen von Beobachtungen, die sie gesammelt hat, von ihrem Material geradezu erdrückt zu werden droht. Von Zeit zu Zeit ist es daher dringend erforderlich, einen Querschnitt durch das Wissen der Zeit zu legen und große Zusammenhänge aufzudecken, durch die dann zahllose Einzelbeobachtungen durch Naturgesetze zusammengefaßt werden können.

Vielfach verhindert die Bescheidenheit des akademischen Forschers ein frühes Einsetzen des Bestrebens, aus seinem Material bereits Gesetze abzuleiten, und gerade die Astronomie ist ein Beispiel dafür, wie nicht die Arbeit von Generationen allein, ja sogar von Jahrhunderten vereinigt werden mußte, um zu den heutigen Errungenschaften zu gelangen.

Bei dieser Lage der Dinge machen sich gelegentlich kühne Außenseiter daran, in den riesigen Berg des Beobachtungsmaterials Stollen zu schlagen. Und gerade sie stoßen dabei, bildlich gesprochen, auf erzführende Gänge von hohem Werte! Der Leitgedanke solcher manchmal unter recht ungünstigen äußeren Bedingungen arbeitenden Forscher ist oft aus ganz anderen Disziplinen entnommen als der-

jenigen, zu deren Erforschung der Außenseiter sich gerade gedrungen fühlte. Eine gewisse Romantik ist diesen Studien, die allerdings in neuer Zeit auch unter häßlichen Ausfällen gegen die akademische Wissenschaft leiden, nicht selten eigen, und dieser Umstand verhilft ihnen gerade bei dem wissenschaftlich interessierten Laien zu menschlicher Sympathie. Sieht man von diesen nicht zu unterschätzenden Nachteilen ab, so findet man letzten Endes bei solchen Pionieren einen Umstand besonders deutlich erkennbar, das ist die Anlehnung ihrer wissenschaftlichen Studien an die Intuition.

Wie wertvoll die von dem inneren Auge erschauten Zusammenhänge, wir pflegen sie eben als intuitive Erkenntnis zu bezeichnen, für den Fortschritt der Wissenschaft, insbesondere der Astronomie, sind — mag das Ergebnis auch später anders dargestellt werden —, zeigt uns in erster Linie Johannes Kepler, der Mystiker unter den Sternforschern, wie ihn Wilhelm Foerster einmal genannt hat. Er fühlte sich tief in den Gedanken der Weltharmonik ein und wurde nach den Lehren der Tonkunst über die Harmonien der schwingenden Saite, aus Überlegungen über die platonischen Kristallkörper zu seinen Erwägungen über den Aufbau unseres Sonnenreiches geführt. 300 Jahre hat die Forschung gebraucht, bis sie den tiefen Zusammenhang, den er nur intuitiv zu erfassen, nicht im heutigen Sinne zu beweisen vermochte, im Hinblick auf die Abstände der Planeten nach den neuen Anschauungen vom Aufbau der Materie allgemein ableiten konnte.

Die Harmonie der Welt betreffen, wenn auch in einem anderen Sinne, die Errungenschaften des deutschen Arztes Julius Robert Mayer, des Entdeckers des Gesetzes von der Erhaltung der Energie, deren Bilanz uns erst den gesamten Welthaushalt vollkommen verstehen und übersehen lehrt. „In wahrhaft mustergültiger Weise", sagt Alois Riehl von ihm, „wirken bei Mayers Entdeckung Erfahrung und Denken zusammen; der Anteil der Tatsachen und die Bedeutung ihrer begrifflichen Erfassung zur Herbeiführung des Schlußergebnisses treten auf das Klarste hervor." Bei seiner Rückkehr aus Java stand seine Lehre in ihrer Gesamtheit klar vor seinem Geiste, und er hatte Stunden, in denen er sich gleichsam inspiriert fühlte. Wir können bei ihm das naturwissenschaftliche Sehen und Fragen besonders leicht lernen. Bei Aderlässen, die er nach der Therapie der damaligen Zeit auf Java an eben angekommenen Europäern vorzunehmen hatte, überraschte ihn die hellrote Farbe des Venenblutes. Er deutete sich die Erscheinung nach der Theorie Lavoisiers, der zufolge die Körperwärme durch die im Blut stattfindende Verbrennung bestimmt ist. Der Betrag des Farbenunterschiedes des arteriellen und venösen Blutes wurde dabei als Anhalt für die erfolgte Verbrennung gewählt. Entsprechend dem geringen Wärmebedarf in den Tropen nahm er eine unerwartet geringe Oxydation wahr. Diese an sich einfache Beobachtung brachte ihn zu der großen Frage: „Nun ist zu wissen nötig: ob die direkt entwickelte Wärme allein oder ob die Summe der auf direktem und indirektem Wege entwickelten Wärmemengen auf Rechnung des Verbrennungsprozesses zu bringen ist?" So wurde Mayer von der Physiologie zur Chemie gewiesen, von dieser auf die Physik und dabei auf eine Aufgabe, deren Tragweite er nur ahnen konnte, spielt doch das mechanische Wärmeäquivalent in den technischen Berechnungen der Gegenwart eine ungemein wichtige Rolle.

Bei Julius Robert Mayer lernen wir, wie jede Ursachenbeziehung zur Auffindung von Gesetzen in eine mathematische Formel gebracht werden muß, wenn die Aufgabe auch in Zahlen gelöst werden soll. Ein Ursachen-Zusammenhang beruht auf dem Fortbestehen einer Größe als Ursache in einer entsprechenden Größe als Wirkung, wo eben gerade die Bestimmung des Entsprechenden Aufgabe der Mathematik ist. „Ursache und Wirkung bezeichnen nichts als verschiedene Erscheinungsformen eines und desselben Objektes."

Das Eingehen auf die Ergebnisse Julius Robert Mayers hat uns mit der Form unseres Erkennens bekannt gemacht, die das uns umgebende Geschehen nach Ursache und Wirkung aneinanderreiht. Wir wollen auch versuchen, die Formen des Erkennens in Raum und Zeit, die neben dieser noch übrig sind, in ihrer Bedeutung für die Erfassung der Zusammenhänge von Natur und Mensch zu erläutern, indem wir auch einen Blick tun in die Gedankenwelt des Leipziger Astrophysikers Prof. Friedrich Zöllner, besonders von der Seite her, von der sie durch Anregungen Gustav Theodor Fechners, des Gesetzgebers der Psychologie, bedeutende Erweiterung erfuhr. Die damalige Zeit steht noch unter dem Einfluß der Romantik, die sich auf naturwissenschaftlichem Gebiet als Reaktion gegen den Kantianismus geltend machte. Das Bestreben der Männer dieses Kreises richtete sich auf ein Ziel, das in der kantischen Zeit für unerreichbar gehalten wurde und das auch noch heute bei den meisten Gelehrten fast ausnahmslos für unerreichbar gilt: die durch Raum und Zeit bisher gegebenen Grenzen zu sprengen und zu höherem Erkennen aufzusteigen.

Das hier aufgerollte Problem führt uns mitten in den Kampf der Gegenwart um die nach Einstein benannte Relativitätstheorie, die an das vierdimensionale Gebilde des Raum-Zeit-Kontinuums von Minkowski anknüpft.

Für uns haben diese Überlegungen insofern außerordentliche Bedeutung, als das Streben hier darauf gerichtet ist, dem Leser Ergebnisse der Naturforschung vorzulegen, die in Form von Gesetzen nicht mehr zeitbehaftet sind, sondern allgemein gültig auf die Lösung ganz beliebiger Fragen angewandt werden können. Das Gewordene soll zum Seienden objektiviert werden. Aus zahllosen Beobachtungen und Einzelkenntnissen soll gewissermaßen der Wein der Erkenntnis gepreßt werden. Sich in diesem Sinne von allen dreidimensionalen Eindrücken abzulösen, war im tiefsten Sinne das Bestreben des von Fechner angeregten Zöllner. Gerade bei dem Erstgenannten lernen wir durch eine manchmal spielerisch anmutende Handhabung der Analogie (besonders in den Schriften unter dem Namen Dr. Mises) ihre außerordentliche heuristische Bedeutung kennen.

Und solche Analogien stehen nur dem — wagen wir noch einmal das Wort zu gebrauchen — Polyhistor zu Gebote, der den Inhalt des Wissens einer Zeit in sich zusammenfaßt. Und solche Anregungen sollen hier geboten werden!

II. Unser Standpunkt unter den Sternen.

Der winzige Mensch auf der für ihn riesenhaften Erde, die er erst in Monaten zu umreisen vermag — die Erde ein Stäubchen gegenüber der im Durchmesser mehr als hundertmal größeren Sonne — und diese nur ein Stern unter hundert

Milliarden von Fixsternen in unserer Weltinsel — diese Weltinsel wohl nicht die einzige im öden All — welch ein Unterfangen — und dieses winzige Etwas strebt das unendliche All zu begreifen!

Und doch! so niederdrückend auch der Eindruck der Bedeutungslosigkeit des Ich gegenüber dem All sein mag, wie uns das besonders Hebbel in seinen Tagebüchern schildert, so erhebt uns doch wieder das Bewußtsein, durch unsere geistigen Kräfte einen Zusammenhang alles diesen auffinden zu können und damit durch solche Fähigkeiten eine Aufgabe zu lösen, deren Umfang kaum größer gedacht werden kann.

Wir wollen an dieser Stelle nicht das so oft zitierte Wort Kants wiederholen, welches das moralische Gesetz in uns und den gestirnten Himmel über uns in ihrer Bedeutung für die wahre Erhebung der Menschheit zum Ausdruck bringt, wir wollen es nur zum Ausgangspunkt nehmen für die Erwägung der Frage, aus welchen Gründen wohl der Mensch so tief in die Wunder des Weltalls einzudringen bestrebt war. Mag nicht schon vor Jahrtausenden den Priestern der damaligen Zeit, die zugleich der Sternforschung oblagen, der Gedanke aufgedämmert sein, daß zwischen dem moralischen Gesetz in uns und dem gestirnten Himmel über uns Beziehungen bestehen könnten.

Nüchterne Erwägungen der Zweckmäßigkeit, die wir heute schwer rekonstruieren können, weil wir vollkommen an diesen Lauf der Dinge gewöhnt sind, mögen sie im Hinblick auf die Aufgaben der Landwirtschaft veranlaßt haben, die Umlaufsdauer der lebenspendenden Sonne in Umdrehungen unserer Erde auszudrücken, d. h. die Zahl der Tage eines Jahres zu bestimmen. Gewannen sie doch dadurch die Möglichkeit einer Vorhersage der für den Landwirt günstigen Bedingungen zum Säen und Ernten. Wir müssen uns diesen Urzustand mühsam zurückzubilden suchen, da uns ja das Jahr zu $365^1/_4$ Tagen in Fleisch und Blut übergegangen ist.

In ähnlicher Weise wie die Sonne die Fruchtbarkeit der Felder mit ihren belebenden Strahlen förderte, wird man schon früh Beziehungen zwischen der Dauer des Mondumlaufes und den Fortpflanzungsperioden der Tiere und Menschen erkannt haben. Heute wissen nur wenige, daß die Werdezeit des Menschen im Durchschnitt genau zehn Sternumläufen des Mondes gleichkommt.

Was lag nun näher, als auch die weiteren Wandelsterne auf ihre Einflüsse hin zu verfolgen, um in ähnlicher Weise wie das bei dem Jahre für den Landmann gelang, auch etwa im besonderen für den Menschen Gestirnseinflüsse zu erkennen und damit der Zukunft etwas von ihrem dunklen Furchtbaren zu nehmen?

Man ist heute gewohnt, über die uralte Astrologie den Stab zu brechen, einerseits, weil ihre Überlieferung kaum verständlich und andererseits, weil von Gauklern der Gegenwart aus einer ehemaligen Wissenschaft eine Chimäre gemacht wurde. Erst die letzten Jahre haben durch mühsame Statistik Anhaltspunkte dafür gewinnen lassen, daß man mit einem völlig ablehnenden Urteil über einen etwa ernsthaft zu behandelnden Kern der Astrologie vorsichtig sein muß. Beispielsweise ist es heute eine bewiesene Tatsache, daß häufiger als man nach dem Zufall annehmen sollte, beim Tode eines Menschen der Mars im Tierkreis eine Stellung einnimmt, die in mathematisch angebbarer Beziehung zu dem Platz steht, den bei

seiner Geburt die Sonne einnahm. Sollte es gelingen, die Götterwelt Griechenlands, deren Namen sich mit denen der Wandelsterne decken, in der Weise zu verstehen, daß die den einzelnen Göttern zugeschriebenen Einflüsse sich tatsächlich bei den entsprechenden Planeten wiederfinden? Hier berührt sich allerdings die exakte Wissenschaft mit dem Streben des Menschen, die nüchterne Welt der Erscheinungen durch eine poetische Deutung zu verklären, wie sie gerade in bezug auf diese Frage Schiller in den „Göttern Griechenlands" so wundervoll gegeben hat.

Von einer Erkenntnis des großen Weltzusammenhanges sind wir dabei allerdings noch weit entfernt, und es wäre geradezu Vermessenheit, auf dem lockeren Unterbau, den diese Studien bisher nur haben, ein Weltgebäude errichten zu wollen, das unser Bestreben nach einer geschlossenen Zusammenfassung alles uns Umgebenden erfüllen könnte.

Abb. 1. Astrologisches Flugblatt von 1504.
In der Mitte das Tierkreiszeichen des Skorpions, das der Mars (rechts) am Schwanze packt. Die Frauengestalt vertritt den Mond, über ihr steht die Sonne. Hinter Mars der Saturn, der mit einer Sichel auf Jupiter einwirkt. Die Zusammenkunft der beiden Letztgenannten bedeutet den wichtigsten Bestandteil der Konstellation.

Wir treten an unsere Aufgabe, einen Standpunkt unter den Sternen zu wählen, um danach zunächst die Stellung der Erde im Weltraum beurteilen zu können, jetzt mit einer ganz anderen Meinung heran als früher. Das Gefühl des engsten Zusammenhanges zwischen Makrokosmos und Mikrokosmos, das in schöner Form auch durch den Hinweis auf den göttlichen Funken in uns betont wird, sagt uns, daß nirgends ein Anfang oder ein Ende ist und daß wir ebenso gut vom kleinsten Baustein der Welt zum Universum aufsteigen können, wie wir auch umgekehrt das unendliche All zunächst als Ganzes zu begreifen versuchen mögen, um danach ins Einzelne zu gehen. Der Aufbau dieses Sammelwerkes läßt es wünschenswert erscheinen, wie eine solche Darstellung auch früher schon von Astronomen gegeben worden ist, ohne daß sie sich dabei einer gegebenen Disposition einordnen mußten, daß wir von einem umfassenden Überblick der Struktur des Weltalls ausgehen, die Nebelwelten im allgemeinen und unsere Milchstraße im besonderen kennen lernen. Darauf folgt die Erforschung der einzelnen Bestandteile dieser Sonnenreiche, des Lebenslaufes der Sonnen und der sie umwandelnden Planeten, darunter im besonderen Falle auch unserer Erde.

III. Mathematische Grundüberlegungen von Raum, Zeit, Kraft und von dem Ziel der Weltentwicklung.

Im Hinblick darauf, daß ja die Mathematik ihrem Aufbau nach gewiß nichts anderes als die Wissenschaft des Selbstverständlichen ist, kann es kaum ein einfacheres Thema geben als die Auseinandersetzung der Grundlagen der Erforschung des Weltenraumes, insofern diese mathematischer Natur sind. Selbstverständlich sind diese Grundlagen insofern, als sie in sogenannten Axiomen bestehen, d. h. in Leitsätzen, deren Richtigkeit allgemein anerkannt ist oder nicht bewiesen zu werden braucht. Man sollte meinen, daß die wenigen Axiome, die der Mathematik zugrunde liegen, im Laufe der Jahrtausende ihrer Entwicklung tatsächlich so weit geklärt wären, daß man sie als allgemein anerkannt bezeichnen dürfte. Das ist nicht nur nicht der Fall, sondern in den letzten Jahren steigert sich unsere Naturerkenntnis außerordentlich in dem Sinne, daß wir immer mehr erkennen, daß früher willig hingenommene Axiome bei ihrer Verknüpfung durch die mathematischen Symbole sich schließlich nicht mehr in vollkommenem Einklang mit den Beobachtungsergebnissen befinden. Dies gilt in ganz hervorragendem Maße vom Raum, im besonderen vom Weltraum, wobei wir es dahingestellt sein lassen wollen, ob es neben dem Weltraum noch andere Räume gibt. Der Leser stutzt vielleicht an dieser Stelle und möchte lieber Weltraum durch Universum ersetzt sehen, wobei dieses alles überhaupt Erkennbare zusammenfassen soll.

Über den Inhalt des Weltraumes, der uns hier im wesentlichen beschäftigen wird, müssen wir zunächst eine einfache allgemeine Erwägung anstellen. Wir sehen den Nachthimmel mit Tausenden von Sternen bedeckt, die auf einem dunklen Grunde sich deutlich abheben. Es erhebt sich sogleich die Frage: ist ihre Zahl begrenzt? Schon der bremische Arzt Olbers sagte sich, daß bei einer unendlich großen Anzahl leuchtender Sterne der Himmelsgrund „ebenso hell wie die Sonne" erscheinen müsse, weil ja dann aus allen Richtungen unendlich viel Licht zu uns käme. Man kann allerdings einwenden, daß das Sternenlicht auf dem Wege zu uns bei der Durchdringung des Raumes zum Teil verschluckt wird. Aber diese Annahme ist nicht einmal notwendig. Wie von Seeliger bei der Anwendung der Naturgesetze auf das Universum gezeigt hat, nähert man sich unter Hinzuziehung immer weiter entfernter Fixsterne einem Grenzzustand, wo der ganze Himmel schließlich in der mittleren Flächenhelligkeit der einzelnen kosmischen Objekte erscheint. Dabei ist der Umstand nicht zu unterschätzen, daß ja die wenig leuchtenden bzw. dunklen Massen im Weltenraum im Vergleich zu den uns sichtbaren, den Sternen und Nebelwelten, überwiegen. Wir werden später bei der Statistik der Sternverteilung erfahren, wie sich aus derselben entnehmen läßt, daß unser Milchstraßensystem als eine Weltinsel aufzufassen ist, außer der vielleicht noch andere Systeme im All vorhanden sein können. Über die Frage der Begrenztheit oder Unbegrenztheit des Universums bekommen wir nur eine Teilantwort, und müssen uns daher bemühen, dem Fragenkomplex von anderer Seite näherzukommen.

Der große Spiralnebel im Dreieck (M 33).

Aufgenommen bei vierstündiger Belichtung durch Prof. G. W. Ritchey mit einem Spiegelteleskop von 45 cm Öffnung (f/5). Ein lehrreiches Beispiel für den Übergang von Nebelmasse in Sterne. Der mittlere Teil der Spirale ist durchaus nebelhaft. Das vermutlich selbständige Gebilde dürfte gegen 900000 Lichtjahre von uns entfernt sein.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Dazu gehen wir auf das sogenannte euklidische Parallelenaxiom zurück. Dieses besagt, daß man durch einen gegebenen Punkt zu einer gegebenen Geraden im Raum nur eine Parallele ziehen könnte. Diese gleichgerichteten Geraden verlaufen im Endlichen im gleichen Abstande voneinander. Man sagt jedoch, daß sie sich im Unendlichen in einem „uneigentlichen Punkt" schneiden. Ein Schnittpunkt ist zu erwarten, wenn auch nur die geringste Abweichung von der Parallelität vorhanden ist. Dann schneiden sich diese Geraden schon im Endlichen. Diese scheinbar schwierige Überlegung wird uns sofort anschaulich, wenn wir uns einen langen geraden Schienenstrang oder eine lange gerade, von Bäumen gesäumte Chaussee vorstellen. Hier wird uns der Schnittpunkt im „Unendlichen" leicht verständlich. Aus dem Parallelenaxiom fließt der Satz, daß die Winkelsumme im ebenen Dreieck genau zwei Rechte betragen soll. Diese Folgerung läßt sich durch Messungen nachprüfen. Auch bei Dreiecken großen Maßstabes zeigt sich, daß der Satz innerhalb der Messungsgenauigkeit zutrifft. Damit ist aber noch nicht bewiesen, daß er für sehr große Dreiecke, wie sie etwa durch die Abstände der Welteninseln untereinander gegeben sein mögen, zutrifft.

Bei genauer Nachprüfung der Bedeutung des Parallelenaxioms, das sich durch die Erfahrung nur innerhalb gewisser Grenzen bestätigen läßt, stellt sich heraus, daß wir hier einen Sonderfall unter den möglichen Geometrien vor uns haben, der ebenso unwahrscheinlich ist wie die Tatsache, daß ein Komet sich in einer genau parabolischen Bahn bewegt. In so gut wie allen Fällen wird seine Bahn eine Ellipse und in verschwindend seltenen eine Hyperbel sein. Während ein hyperbolischer Raum unserem Empfinden nach, auf das wir uns in höherem Maße, als es im allgemeinen zugegeben wird, auch bei diesen hochabstrakten Überlegungen verlassen, keine tatsächliche Realität besitzen kann, bleibt daher nur ein elliptischer übrig. Auch dieser macht in seiner Verarbeitung durch unser Denken äußerste Schwierigkeiten, da wir ja hier auf die Antinomien im kantischen Sinne stoßen. Man darf sich dabei nicht immer wieder zu der Frage hinreißen lassen, was nun wohl hinter der Grenze des abgeschlossenen Raumes sein möchte. Wo die Grenze dieses Raumes liegt, läßt sich außerordentlich schwer berechnen und hängt von Daten ab, die erst aus der Dynamik entnommen werden können. Der endliche Raum führt im Helmholtzschen Sinne auf die merkwürdige Konsequenz, „wenn die Augen scharf genug wären, müßte man also im Hintergrunde des ganzen Weltbildes seinen eigenen Kopf erblicken". Gewiß handelt es sich hier nur um ein Gedankenexperiment, von dessen Undurchführbarkeit jeder überzeugt ist, aber diese Überlegung läßt auch die von Harzer gezogene Folgerung zu, daß man bei Nacht die Sonne als „Stern" sich selbst „gegenüber" müßte auffinden können.

Dieses Gegenüber läßt sich allerdings nicht bestimmen, da ja die Begrenzung des Raumes durch eine Kugel außerordentlich unwahrscheinlich ist. Welche Form die Raumbegrenzung tatsächlich hat, vermögen wir noch nicht anzugeben. Stellen wir uns jedoch einmal vor, daß ein Wanderer auf dem Wege durchs Weltall, wie Schiller das etwa in seinem herrlichen Gedicht „Die Größe der Welt" schildert, immer weiter „gradlinig" fortschreitet, wobei sein Kopf und die Füße parallele Grade beschreiben sollen — die sich ja im „Unendlichen" schneiden — so kommt er schließlich aus der entgegengesetzten Richtung zum Ausgangspunkt zurück —

die Füße oben und den Kopf unten — weil sich die Parallelen im Unendlichen geschnitten haben: die Welt steht für ihn auf dem Kopf! Diese natürliche Folgerung scheint zunächst lächerlich, sie ist aber eine einfache Konsequenz unserer mathematischen Voraussetzung. In ähnlicher Weise wäre auch die Wanderung des Lichtes durch den Raum aufzufassen, so daß uns alle Vorgänge, die einmal gewesen sind, in ewiger Wiederkehr von neuem treffen, wobei jedoch stets eine neue Zusammensetzung der Folgen erscheint, weil ja, wie gesagt, die Begrenzung des Raumes durch eine Kugel außerordentlich unwahrscheinlich ist.

Dieser rätselvolle Raum hat nun für uns nur so weit Interesse, als er physikalisch möglich ist, d. h. erkennbar, mithin insoweit er als Träger irgendwelcher Einflüsse oder Strahlungen in Betracht kommt, die von darin vorhandenen Gebilden ausgehen. Besteht zwischen einem Raumteil und einem anderen keine solche Vermittelungsmöglichkeit, bzw. ist diese Gegend nicht mit dem stets als Vermittler herangezogenen Äther erfüllt, den man eine Zeitlang aus der Physik verbannte, heute aber wieder zugelassen hat, so ist dieser Raum für uns nicht mehr erkennbar und liegt damit außerhalb des Erforschungsmöglichen.

Es kommt daher für uns nur ein Raum in Betracht, der von „Etwas", mindestens also von dem Äther, erfüllt ist. Von Interesse sind im praktischen Sinne nur Anhäufungen größerer Massen, wie wir sie eben in den bekannten Himmelskörpern vor uns haben. Diese Massen wirken erfahrungsgemäß aufeinander ein nach einem Gesetz, das von Newton in seiner allgemeinsten Form aufgefunden und hinsichtlich seiner Konsequenzen weitgehend untersucht wurde. Was es mit dieser Massenanziehung auf sich hat, die dem Quadrat der Entfernung gemäß abnimmt und im übrigen den anziehenden Massen direkt entspricht, macht man sich selten in seiner physiologischen Begründung klar. Da jedoch die ganze Raumanschauung und das Verständnis der gegenseitigen Einwirkung der Massen in ihm davon abhängt, möchten wir zur Erläuterung an einen Versuch aus der Tierpsychologie erinnern.

Der Mensch besitzt zu seiner Orientierung auf der Erde, wir dürfen nicht sagen, allgemein im Raum, im nichtakustischen Teile des Ohres kleine Organe, bei welchen die sogenannten Otolithen durch ihren leichten Druck auf die Umgebung in dem, nach einem dreiachsigen Koordinatensystem gebauten Organ, uns oben, unten usw. vermitteln. Dieses ist das Organ, das auf eine „Kraft" im physikalischen Sinne reagiert. Der Mensch kennt nach seiner körperlichen Erfahrung nur die Schwerkraft (bzw. eine Federkraft). Bei kleinen Krebsen schwebt entsprechend auf einem Kranz feiner Tasthaare der Statolith, der in genau gleicher Weise auf den Einfluß der Gravitation reagiert, und dem Krebschen besonders im Wasser die Richtung der Schwerkraft anzeigt. Bei der Häutung geht diesen Krebschen der Statolith verloren, und dann setzt sich das Tier als Statolith ein Sandkörnchen ein. Es wurde nun der außerordentlich geistvolle und für uns so bedeutsame Versuch gemacht, Garneelenkrebse nach der Häutung im Aquarium statt auf Sand auf Eisenstaub zu setzen. Die Tiere steckten daher Eisenteilchen statt Sandkörner in ihr Orientierungsorgan. Als man ihnen dann einen Magneten näherte, dessen Anziehungskraft auf das Eisenteilchen größer war als die Wirkung der Schwerkraft auf die kleine Eisenmasse an sich, stellten die Krebschen sich mit dem Bauch

auf den Magneten ein, als sei dort das richtige „Unten" der Gravitation, wie W. Bölsche treffend bei der Schilderung dieses Experimentes betont.

Glücklicherweise sind die Otolithen des Menschen ferromagnetischen Einflüssen unzugänglich, sonst würde in unserer Weltanschauung ein fürchterliches Chaos entstehen. Das Beispiel hat uns gelehrt, wie sehr wir hinsichtlich des Oben und Unten von der Schwerkraft der Erde abhängen. Es führt weiter die Vorstellung dem Verständnis näher, daß das „Unten" für unsere Erde nach der Sonne zu liegt und daß das „Fallen" der Weltkörper eine Bewegung im Sinne der Massenanziehung ist — daß es im Weltall das gewohnte Oben und Unten nicht mehr gibt.

Damit ist, in ihrer Tragweite zunächst unabsehbar, die Frage nach dem Bezugssystem aufgerollt, von dem ausgehend die Bewegungen im Weltall beschrieben werden sollen. Seine Festlegung bietet eine der schwierigsten Fragen der rechnenden Astronomie, bei der es ohne gewisse Konventionen nicht abgeht. Dieses ist von vornherein schon damit klar, daß wir ja nicht alle Massen im einzelnen berücksichtigen können und uns daher auf eine allgemeine Lösung des Problems verständigen müssen. Von großem Vorteil ist dabei der Umstand, daß die Abstände der einzelnen Massen verhältnismäßig große sind, und daß ferner in den meisten Fällen die eine Masse der anderen außerordentlich überlegen ist. Das Vorhandensein der Massen hat bedeutenden Einfluß auf unsere Erkenntnis vom Bau der Welt insofern, als der Verlauf der Lichtstrahlen durch die Massen abgelenkt wird. Dies gilt im besonderen für unsere Sonne, bei der die Beeinflussung der Lichtstrahlen während der letzten Sonnenfinsternisse eingehend in Hinblick auf die Einsteinsche Relativitätstheorie untersucht wurde.

Die Bedeutung des Gravitationsgesetzes beschränkt sich jedoch durchaus nicht auf diese allgemeinen, beinahe abstrakten Angelegenheiten, sondern hat auch in ihrer praktischen Anwendung schöne Triumphe feiern dürfen. Wir werfen auf diese jetzt einen flüchtigen Blick, um den Leser, der durch unsere erkenntnistheoretisch orientierten Vorbereitungen in diesem Kapitel den Boden unter den Füßen zu verlieren drohte, wieder aufzurichten. Bei diesen Anwendungen des Gravitationsgesetzes handelt es sich nun nicht um Probleme von solcher Tragweite wie die eben behandelten, sondern um einige, wie gesagt, mehr der praktischen Astronomie angehörende Fragen. Die wichtigste Anwendung zeigt sich in der Theorie der Anziehung des Erdwulstes, soweit er festliegt, als auch bei Ebbe und Flut, deren Vorausberechnung für die Schiffahrt von außerordentlicher Bedeutung ist. Die anziehenden Kräfte von Sonne und Mond, die wir hier auf den Wasserwulst der Erde wirken sehen, greifen in ähnlicher Weise auch den allgemeinen Äquatorwulst unseres Planeten an, den er infolge seiner Umdrehung aufweist. Die Erde ist in derselben Weise zu betrachten wie ein Kreisel, und wir sind imstande, die Form des Kegels zu berechnen, den die Erdachse um die Senkrechte zur Erdbahn beschreibt. Diese sogenannte Präzession hat für die veränderliche Lage der Sternbilder im Laufe der Jahrtausende große Bedeutung und gestattet die Datierung ältester Angaben auf Grund verhältnismäßig einfacher Berechnung.

Für weite Kreise sehr eindrucksvoll war das Beispiel ihrer Verwertung, das die erste Vorausberechnung einer Wiederkehr des Kometen Halley für 1759 bot. Es mußten dazu die störenden Einflüsse der großen Planeten für einen Zeitraum

von 76 Jahren berechnet werden. Diese Riesenarbeit vollbrachte Clairaut mit dem Erfolg, die Verzögerung der Wiederkehr des Kometen zur Sonne bis auf einen Monat genau vorherzubestimmen.

Eine der glänzendsten Anwendungen des Gravitationsprinzipes war weiter die Auffindung des Planeten Neptun, der allein aus den Störungen berechnet werden konnte, die durch ihn die Bewegung des Planeten Uranus erlitt. Der Planet wurde 1846 nur einen Grad von dem durch Le Verrier vorausberechneten Orte entfernt durch Galle in Berlin zuerst beobachtet. Die Tragweite dieser Entdeckung kann nur derjenige ermessen, der sich eingehender mit der Himmelsmechanik beschäftigt und die Wirkung der Planeten aufeinander näher kennenlernt (Abb. 2).

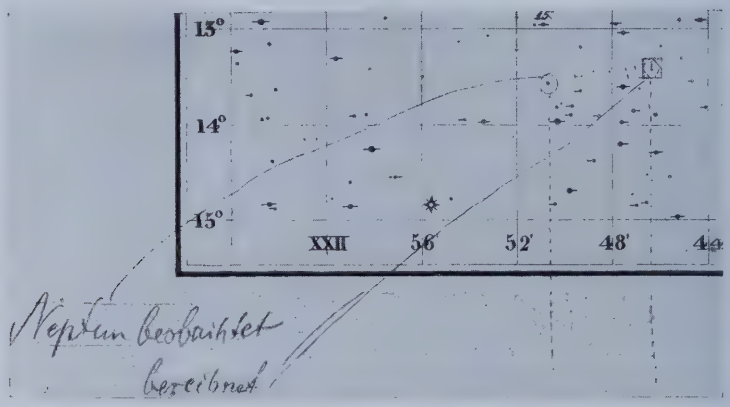


Abb. 2. Auffindung des errechneten Planeten Neptun.
Das entscheidende Stück der Berliner Akademischen Sternkarte nach dem vergilbten Original in Berlin. Der vorausberechnete Ort wich vom beobachteten nur etwa um einen Grad oder um zwei Vollmondsbreiten ab.

Die Gravitationstheorie ermöglichte auch La Place Untersuchungen über die Stabilität unseres Sonnensystems durchzuführen, die das wichtige Resultat lieferten, daß auf absehbare Zeit, die jedenfalls nach vielen Jahrmillionen zu rechnen ist, die Bahnverhältnisse der Großen Planeten unseres Sonnensystems nur um gewisse mittlere Lagen herumpendeln, ohne daß etwa einer oder der andere von ihnen durch Störungen so weit aus seiner Bahn herausgebracht würde, wie wir das etwa bei der Kometenbewegung kennenlernen. Diese allmählichen Schwankungen der Bahnverhältnisse besonders unserer Erde haben zu der Lösung des schwierigsten Problemes ihrer Entwicklung geführt, nämlich zur astronomischen Datierung des Eintretens der Eiszeiten hauptsächlich entsprechend den Schwankungen der Exzentrizität der Erdbahn und damit der Berechnung des Zeitpunktes, zu dem mit dem Auftreten des Menschen auf unserem Planeten überhaupt zu rechnen ist.

Im letzten Menschenalter ist an dem Aufbau des Newtonschen Gravitationssystems schwer gerüttelt worden, indem durch die Einsteinsche Relativitätstheorie einige Ergänzungen zu demselben gegeben wurden, bei denen es sich jedoch um außerordentlich kleine Beträge handelt, die noch nicht einmal in ihrem Vorhandensein vollkommen sichergestellt sind. Wir haben den Leser eingangs auf das Risiko aufmerksam gemacht, das er bei der Verwendung von Axiomen in der Natur-

wissenschaft eingeht. Bei der Relativitätstheorie wird nun in diesem Sinne die Lichtgeschwindigkeit mit rund 300000 km in der Sekunde als universelle Konstante eingeführt.

Es kann unmöglich unsere Aufgabe sein, an dieser Stelle in den Kampf um die Relativitätstheorie einzugreifen. Mit gewisser Genugtuung darf man feststellen, daß dieser Streit allmählich zu einer Klärung der ganzen Frage und der weiteren Reinigung unserer Naturwissenschaft von Axiomen nicht einwandfreier Qualität geführt hat. Bis zu welcher Tiefe man dabei vordringen muß, möge der Hinweis erläutern, daß schon bei den einfachsten Begriffen der Zweifel einsetzen muß, etwa bei dem archimedischen Axiom, welches aussagt, daß ein Teil einer Strecke A B von A aus in der Richtung auf B wiederholt abgetragen, stets nach einer endlichen Anzahl von Abtragungen zu einem Punkte führt, der über B hinaus liegt. Bei diesem Zweifel knüpft auch Gramatzki mit seiner 1923 bzw. 1925 zuerst vorgetragenen neuen Limitentheorie an, gegen die Einstein keinen Einwand erhebt, und die imstande ist, durch die Klärung gewisser algebraischer Schwierigkeiten, entsprechend den oben behandelten geometrischen Problemen, die vielfach unfruchtbaren und unnötig persönlich gefärbten Streitigkeiten zu schlichten. Wir können an dieser Stelle nichts Näheres darüber berichten, möchten jedoch darauf hinweisen, daß der Verlauf des Naturgeschehens sich weit mehr, als man das früher anerkennen wollte, durch sogenannte Exponentialfunktionen darstellen läßt, die ja auch den Grundgedanken der Fechnerschen physiologischen Psychologie bilden.

Es erübrigt sich daher an diesem Punkte, im einzelnen auf die astronomischen Beweise für die Relativitätstheorie näher einzugehen. Wir beschränken uns daher auf die Andeutung, daß die Drehung der großen Achse der Merkurbahn hinsichtlich des kleinen Restes, der sich aus der früheren Theorie der Planetenbewegung ergab, auch ohne Einstein nach der sogenannten Gerberschen Formel berechnet werden kann. Wir leiden in diesem Falle sogar geradezu an zu viel Deutungsmöglichkeiten, da ja schon die Seeligersche Theorie des Zodiakallichtes die Beobachtungsergebnisse befriedigend darstellt. Man könnte sich jetzt versucht fühlen, die Konsequenz zu ziehen, daß die Seeligersche Erklärung des Zodiakallichtes und der Störung des Merkurperihels nicht notwendig ist, weil die Gerbersche Formel schon genügt — damit wäre für die Einsteinsche Theorie erst recht nichts gewonnen.

Was ferner die Biegung der Lichtstrahlen durch den Masseneinfluß der Sonne angeht, so kann diese auch mit Hilfe der klassischen Mechanik berechnet werden, wenn man nur der der Newtonschen Theorie entsprechend vorgeht. Was unter entsprechend zu verstehen ist, klärt sich bei der allmählichen Entwicklung der Wissenschaft gewissermaßen von selbst auf. So erlebte es Verfasser als Student, als er zu Füßen von Planck saß, daß die Relativitätstheorie nur einen äußerst winzigen Bruchteil der Merkurperihelbewegung erklären konnte — heute liefert sie vielleicht mehr, als aus dem ziemlich unsicheren Beobachtungsmaterial erschlossen werden kann. Die daher wünschenswert gewordene Neubearbeitung der Merkurbahn befindet sich übrigens bereits im Gange.

Was schließlich die spektrale Rotverschiebung betrifft, mit deren Hilfe man schon früh die Einsteinsche Theorie bewiesen haben wollte, so haben spätere

Untersuchungen gezeigt, daß diese Angelegenheit auf Grund der Theorie nicht zu klären ist. Die einzelnen Gelehrten stehen hier durchaus in Widerspruch; die Beobachtung brachte noch keinen überzeugenden Aufschluß.

Daß wir auf Grund dieser noch im Aufbau befindlichen Beweiskette zögern, die Konsequenzen im astronomischen Sinne hier weiter zu verfolgen, ist wohl zu verstehen. Immerhin wird es den Leser interessieren, daß man besonders nach dem Ausbau der Entwicklungen durch De Sitter beiläufige Anhaltspunkte für die Ausdehnung der Welt in dem Sinne gewonnen hat, daß man sie in der Größenordnung von etwa 20 Millionen Lichtjahren heute anzunehmen geneigt ist. Wie gesagt, hängt die Form des Raumes von der Verteilung der Massen ab; mangels näherer Anhaltspunkte bezeichnen wir ihn als quasisphärisch.

Gefühlsmäßig werden wir veranlaßt, nach dem Ziel zu fragen, das die fortwährende Beeinflussung der Massen im Raume untereinander anstrebt. Wir erinnern uns dabei der Erwägungen über die Zeit in dem Sinne, daß im quasisphärischen Raum eine Zurückwerfung des Lichtes oder der Strahlung im allgemeinen anzunehmen ist, und daß wir mit einer ewigen Wiederkehr des Geschehens jedoch in immer neuer Anordnung seiner Teile rechnen müssen. Boltzmann hat gezeigt, daß die Welt von einem unwahrscheinlichen einem Zustande von höherer Wahrscheinlichkeit zustrebt. Er formuliert damit allgemeiner den Clausiusschen Entropiesatz, wonach die Entropie der Welt einem Maximum zustrebt. Dieses Maximum bedeutet den Wärmetod der Welt, eine Konsequenz, gegen die sich verschiedene Physiker energisch gewehrt haben.

Unter Entropie wird dabei eine Rechengröße verstanden, nämlich der Quotient Wärmemenge dividiert durch Temperatur, und der Endzustand in der Weise aufgefaßt, daß ein ideales Gleichschwingen der Moleküle eingetreten ist, einer überall gleich hohen Temperatur entsprechend. Die Vorstellung des Wärmetodes der Welt hat seit ihrer Veröffentlichung 1865 auch auf die Psyche der Physiker großen Eindruck gemacht, der wohl am deutlichsten von Chwolson ausgesprochen wurde: „Das Entropiegesetz ist das unvergleichlich mächtigste Instrument, das die Physik besitzt, um die geheimsten, nie geahnten Gesetze aufzusuchen, denen die physikalischen Erscheinungen gehorchen. Der Gedanke hat nicht seinesgleichen an Tiefe und Bedeutung, die Menschheit darf stolz darauf sein, daß sie ihn erfaßt hat."

Es ist selbstverständlich, daß aus diesem Grunde die Folgerungen des Entropiegesetzes eingehend erforscht wurden. Da gelang es — zum Glück für die Welt! — dem polnischen Physiker v. Smoluchowski, durch Versuche mit kolloidalem Gold festzustellen, daß in dieser Kolloidlösung beständig Konzentrationsschwankungen auftreten und der Molekulartheorie entsprechend auch wieder verschwinden. Damit sind Fluktuationen der Entropie festgestellt! Es handelt sich also um Schwankungen gegenüber einem Mittelwert, mithin auch um das Vorkommen der Verminderung der Entropie. Daraus ist zumindestens zu schließen, daß in einigen Teilen der Welt auch „Neubelebungen" stattfinden können, die Abnahmen der Entropie entsprechen. Im Sinne Boltzmanns muß man sich daher den Übergang zu einem wahrscheinlicheren Zustand begrifflich sehr weit gefaßt zu entwickeln suchen.

Die Zustandsänderungen der Materie müssen wir uns dabei auf Grund der Beziehungen zwischen Materie und Energie vorstellen. Der Massenverlust eines

Körpers ist dabei gleich der abgegebenen Energiemenge dividiert durch das Quadrat der Lichtgeschwindigkeit. Diese abgegebene Energiemenge wird nun, worauf W. Nernst wiederholt hingewiesen hat, vom Äther zu einem, wenn auch sehr geringen Teile verschluckt, und Nernst nimmt nun an, daß eine Rettung vom Wärmetode der Welt in der Weise möglich ist, daß von Zeit zu Zeit ein Atom irgendeines Elementes, und am wahrscheinlichsten sogar das Atom eines hochwertigen, etwa des Urans, des „Urahns" der Elemente, sich zurückbildet. Wir hätten uns dabei die Umwandlung von Energie in Materie vorzustellen. Dieses ist nicht so schwierig, wie es auf den ersten Blick zu sein scheint, weil wir ja den ganzen Mikrokosmos als dynamisches Wirbelfeld erklären können, wobei wir allerdings die vielfach benutzte Bohrsche Atomtheorie nicht mehr im früheren Umfange verwerten können. A. Nenning hat im Anschluß an die Helmholtzsche Theorie des „ewigen Wirbels" eine Möglichkeit aufgezeigt, wie wir auch mathematisch dem Verständnis dieses Vorganges näherkommen können. Wir werden damit zurückgeführt in eine Epoche der Philosophie, wie wir sie schon in den Prinzipien von Des Cartes in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts angedeutet finden, obwohl seine Lehre heute im einzelnen nicht mehr verwendbar ist.

Die Erwägungen dieses Abschnittes haben an das Denkvermögen des Lesers die äußersten Anforderungen gestellt, weil sie sich mit Aufgaben wohl des größten Umfanges zu beschäftigen hatten. Wir dürfen nicht sagen, daß diese Aufgaben gelöst seien, im Gegenteil sind wir uns bei diesen Erwägungen bewußt geworden, wie klein das Bereich unseres Erkennens besonders im Hinblick auf die Erscheinungswelt ist, die wir bisher durch Beobachtungen und Naturgesetze erforschen und zusammenfassend beschreiben konnten. Dieser Abschnitt hat uns vor Probleme geführt, denen wir gegenüberstehen, wie Goethe es in Wilhelm Meisters Wanderjahren einmal ausdrückt: „Das Ungeheure hört auf erhaben zu sein; es überreicht unsere Fassungskraft, es droht, uns zu vernichten."

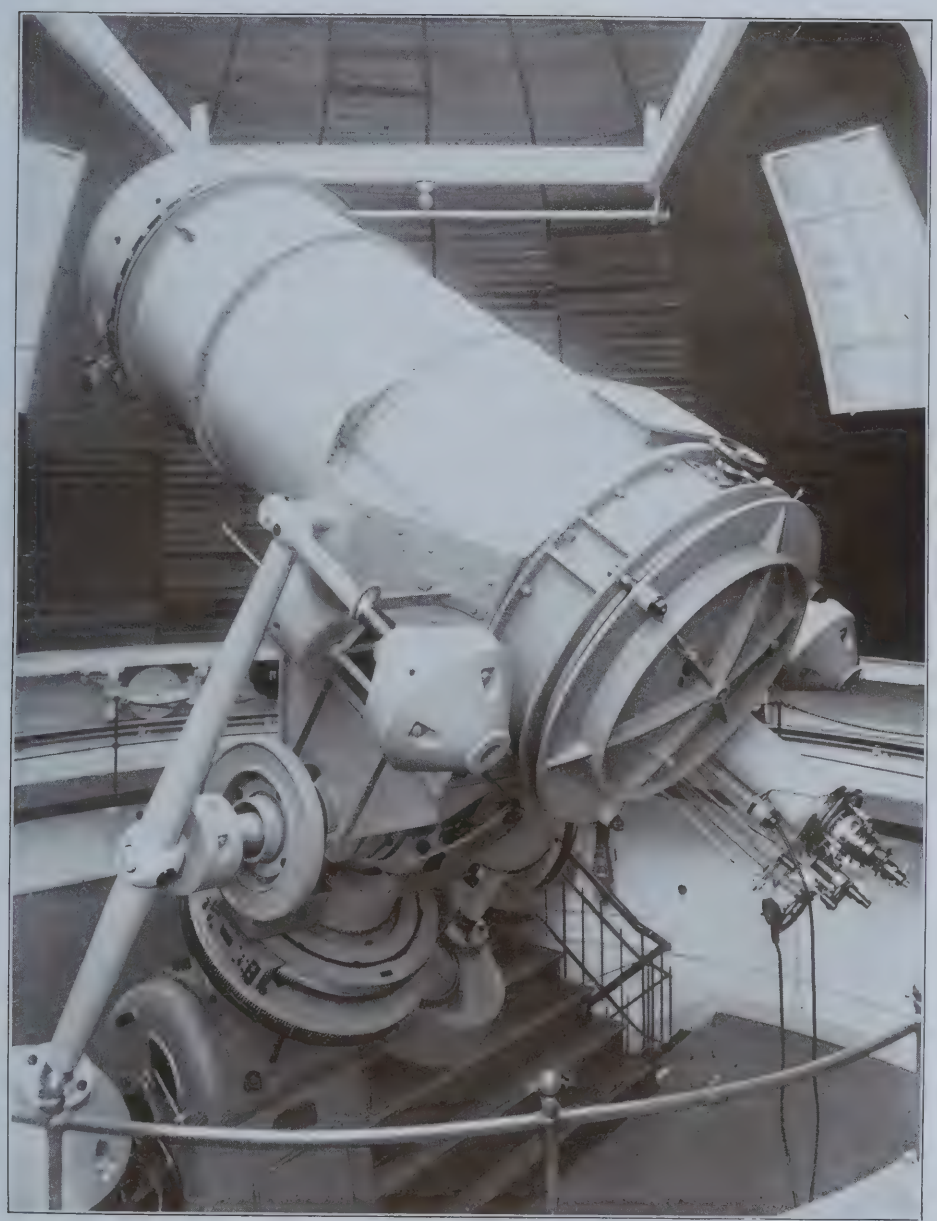
IV. Technische Werkzeuge des Astronomen.

Die Wahrnehmungen des Astronomen beruhen selbstverständlich fast ausschließlich auf denen seines Auges, und es handelt sich daher bei den technischen Werkzeugen des Sternforschers einfach darum, die Leistungen des Auges erheblich zu vergrößern und dabei zugleich die Möglichkeit zur Registrierung aller Eindrücke zu gewinnen. Zunächst kommt es dabei darauf an, die Wahrnehmung der Lichteindrücke überhaupt möglichst zu steigern, d. h. dem Auge recht viel Sternenlicht gesammelt zuzuführen. Dies darf grundsätzlich nicht in der Weise geschehen, daß man etwa künstlich die Pupille des Auges vergrößert (weil die Linse des Auges zu unvollkommen ist, als daß sie bei einem derartigen Öffnungsverhältnis noch befriedigend abbildete), sondern dadurch, daß man beispielsweise von einem Stern durch eine große Linse viel Licht sammelt und dieses auf einen kleinen Querschnitt zusammengefaßt unserem Sehorgan zuführt. Die sammelnden Flächen können sowohl in der Durchsicht beim Fernrohr im eigentlichen Sinne, dem Refraktor, wie auch in der Draufsicht, beim Spiegelteleskop in seinen verschiedenen Konstruk-

tionen, angewandt werden. Da das Auge nur innerhalb gewisser Grenzen imstande ist, durch den Umsatz des Sehpurpurs den Lichtstrom wahrzunehmen, so muß man weiter suchen, die im Auge nicht mögliche Häufung der Lichteindrücke durch Zwischenschaltung eines neuen Prozesses zu erzielen. Dies geschieht bekanntlich mit Hilfe der Photographie, welche dem Auge nicht den Gegenstand selbst, sondern das Ergebnis der chemischen Veränderung darbietet, die sein Licht im allgemeinen auf einer Bromsilberschicht hervorgebracht hat. Während das Auge den Höchstwert der Summation der Lichteindrücke schon in weniger als einer Sekunde erreicht, ist es der Himmelsphotographie möglich, in äußersten Fällen eine Belichtungsdauer von 80 bis 100 Stunden zu erzielen. Auf diese Weise werden Lichteindrücke von schwachen Sternen wahrgenommen, deren direkte Beobachtung wohl als ausgeschlossen bezeichnet werden darf.

Unser Auge ist zwar auch imstande, über die Art der Strahlung, die vorwiegenden Wellenlängen des Lichtes, ein Gesamturteil abzugeben, aber die Verteilung der einzelnen Elemente vermag es nach Farben gesondert nicht auszuführen. Dies ist leicht dadurch zu bewirken, daß man das Licht entsprechend den einzelnen Wellenlängen aufspaltet und dann dem Auge die getrennten Bereiche, die es den Regenbogenfarben entsprechend empfindet, zur Beurteilung darbietet. Auch hier kann wiederum die photographische Platte registrierend eingreifen. Da ihre Empfindlichkeit aber nicht die Grenzbereiche des Lichtes besonders nach der längerwelligen Seite zu erfassen vermag, so hat man auch auf die elektrischen Eigenschaften verschiedener Körper bei der sogenannten Bolometrie zurückgreifen müssen.

Alle Wahrnehmungen des Auges sind nun in jedem Falle auch ohne Rücksicht auf seine Bewaffnung durchaus abhängig von den Einflüssen der Erdatmosphäre. Diese machen sich zunächst in der Weise geltend, daß ein nicht unerheblicher Teil der Strahlung verschluckt und zerstreut wird. Wie stark sich dieser Einfluß geltend macht, läßt sich besonders auf Berg-Observatorien verfolgen, bei denen der heitere Himmel viel schwärzer erscheint als im Vergleich dazu in der Tiefebene. Diese Absorption erstreckt sich nicht gleichmäßig auf alle Strahlengattungen, sondern wählt besondere davon entsprechend der Zusammensetzung der Atmosphäre aus. Die Berücksichtigung dieser Einflüsse ist besonders bei Strahlungsmessungen des Mars schwierig zu bewerkstelligen. Nicht zu unterschätzen sind auch die Schwankungen, die diese Absorption mit der Änderung der Witterung an ein und demselben Beobachtungsorte, bzw. im Vergleich der Bergsternwarten mit den übrigen Observatorien erkennen läßt. Bei Helligkeitsmessungen von großer Genauigkeit ist dadurch etwa bei dem Tausendstel der Größenklasse eine Grenze gegeben, deren Überschreitung kaum möglich sein dürfte. Die zeitlichen Änderungen des Zustandes der Erdatmosphäre machen sich jedoch am schlimmsten geltend durch die Unruhe der Luft, die der darin fortwährend stattfindende Temperaturausgleich hervorruft. Die Schichten mit verschiedener Brechkraft gleiten aneinander vorüber und mischen sich zum Teil. Die Beobachtung am Fernrohr zeigt das Ergebnis, daß das Bild um so wallender und unruhiger erscheint, je heftiger der Mischungsvorgang erfolgt und besonders je länger der Lichtweg durch die Atmosphäre ist. Daraus ergibt sich selbstverständlich große Unruhe der Fernrohrbilder bei Sternen nahe dem Gesichtskreise, die wir in keiner Weise beseitigen können. Diese



Großes Spiegelteleskop der Hamburger Sternwarte zu Bergedorf.
Das von Carl Zeiß erbaute Instrument hat bei einem Meter Öffnung nur drei Meter Brennweite, geht also im Hinblick auf die Lichtstärke an die äußerste Grenze des praktisch Möglichen.

IBRARY
OF THE
UNI ERSITY OF ILLI O

Unruhe wird wie alle mit dem Fernrohr verfolgten Vorgänge entsprechend seiner Vergrößerung mit gesteigert, so daß man für eine Luftsäule von bestimmtem Querschnitt, dem Durchmesser des Objektivs entsprechend, bei einem gewissen Grad der Luftunruhe leicht die Vergrößerung feststellen kann, die die obere Grenze des praktisch Möglichen bedeutet. Im allgemeinen wird man auch bei großen Fernrohren nicht weit über 500- bis 800fache Vergrößerung anwenden können. In sehr seltenen Fällen gelingt es wohl auch, bis zum Dreifachen davon vorzudringen, aber der Gewinn an Bildqualität bleibt im Gesamturteil zweifelhaft.

Wenn wir nun nach diesen allgemeinen Ausführungen die Leistungen des Auges etwas näher im einzelnen betrachten wollen, müssen wir in ähnlicher Weise wie bei der Behandlung der atmosphärischen Einflüsse auch die physiologisch gegebenen Bedingungen berücksichtigen, die unserer Forschung unübersteigliche Grenzen setzen. Es wurde schon erwähnt, daß die Lichtempfindlichkeit unseres Auges nur innerhalb gewisser Grenzen, dem möglichen Umsatz des Sehpurpurs entsprechend, auf verschiedene Lichtstärken reagiert. Vom technischen Standpunkt aus ist dieser etwa 20 Größenklassen umfassende Spielraum außerordentlich groß. Für die Beurteilung der Farbenwahrnehmung ist besonders zu berücksichtigen, daß ja in unserem Auge verschiedenartige Organe, Stäbchen und Zapfen, untergebracht sind, von denen nur die Letztgenannten auf Farbeneindrücke reagieren, während die farbenblinden Stäbchen alles als Mondscheinlandschaft wahrnehmen. Gehen wir auch hier bis an die äußersten Grenzen des Möglichen, so sind diese für die getrennte Wahrnehmung von zwei Lichtpunkten dadurch gegeben, daß zwischen zwei gereizten Zapfenelementen mindestens ein ungereizter Zapfen stehen muß. Dadurch erklärt sich in Übereinstimmung mit dem mikroskopischen Befund die Grenze der Trennungsmöglichkeit bei 50″ für das normale Auge. Die Trennung von Strichen ist noch möglich, wenn diese nur etwa 10 bis 12″ entfernt liegen, weil dann durch das reihenweise Zusammenwirken der Zapfen eine zusammenfassende Bearbeitung eines größeren Wahrnehmungskomplexes im Auge erfolgt.

Die zusammenfassende Beurteilung der Reizgrößen benachbarter Netzhautelemente in unserem Auge ist eines der wichtigsten, aber leider noch nicht hinreichend beachteten Kapitel der modernen Astronomie. Die Untersuchungen von Ernst Mach, von Seeliger und A. Kühl haben uns in diesem Sinne verstehen gelehrt, daß es sich bei der Vergrößerung des Erdschattens bei Mondfinsternissen, bei dem Auftauchen gewisser zarter Streifen auf der Oberfläche von Venus und Merkur um Vorgänge handelt, die sich in unserem Auge abspielen und die wir (durch Berechnung der zweiten Differentialquotienten der Änderung der Lichtintensität auf der Fläche) mathematisch verfolgen können. Auf diese Weise wird es möglich, das außerordentlich schwierige Problem der Umdrehungsbestimmung der genannten Himmelskörper seiner Lösung näherzuführen. Ähnliche Streifen oder richtiger Kontrastlinien entstehen auch bei optischen Wahrnehmungen im Auge, wenn die einzelnen Lichteindrücke zu schwach sind und von zu kleinen Gebilden herrühren, als daß diese einzeln unterschieden werden könnten. Damit werden jene zarten, gradlinigen „Kanäle" auf Mars erklärt, zu deren Entstehung man früher die „Marsbewohner" bemühen zu müssen glaubte.

Weit entfernt davon, durch diese Feststellungen den Wert der astronomischen Beobachtungsergebnisse, ja auch anderer Wissenschaften, die sich ähnlicher Geräte bedienen, besonders des Fahrohrs oder Mikroskops, herabzusetzen, werden wir vielmehr durch Berücksichtigung aller dieser Fragen in Stand gesetzt, unsere Resultate von den früher unterschätzten subjektiven Einflüssen zu befreien.

Abb. 3. Das Hauptfernrohr der Berliner Sternwarte in Neubabelsberg.
Das Objektiv mit 65 cm Öffnung und 10 m Brennweite
ist von außerordentlicher optischer Qualität.

Es mangelt uns hier durchaus an Raum, über die gewaltigen astronomischen Instrumente, wie sie auf den großen Sternwarten in Deutschland in Babelsberg oder Bergedorf und besonders den amerikanischen Sternforschern zur Verfügung stehen, Einzelheiten mitzuteilen. Im Grunde genommen gehört diese Angelegenheit in das Gebiet der Physik, die auch die technische Durcharbeitung der einzelnen Instrumente und ihre Vervollkommnung in die Hand genommen hat (Abb. 3 und Tafel II).

Ein Sondergebiet der Astronomie und besonders der mit ihr verwandten Geodäsie ist die Festlegung von Richtungen mit äußerster Schärfe. In frühester Zeit begnügte man sich mit der Benutzung eines gewöhnlichen Stabes zur Beurteilung etwa der Schattenrichtung der Sonne, einer einfach festgelegten Visierrichtung, eines ausgespannten Fadens, etwa im alten Ägypten, und ähnlicher Hilfsmittel mehr. Sollte die Schattenrichtung dauernd zur Zeitbestimmung ausgenutzt werden, so orientierte man den Stab in besonderer Weise, wie das von den Sonnenuhren her bekannt ist. Um höheren astronomischen Anforderungen zu entsprechen, ersetzte man diese groben Hilfsmittel durch die Visierrichtungen nach punktförmigen Gebilden. Mit Hilfe der Sterne, die den ruhenden Pol umkreisen, bestimmte man den Himmelspol, und mit Hilfe der Schwerkraft, die einen Spiegel mit Quecksilberfläche horizontal stellt, auch die Richtung zum Scheitelpunkt. Durch diese beiden Richtungen ist auf der Erde am Beobachtungsort eine Ebene festgelegt, die Nord-Süd-Ebene durch den Scheitelpunkt, die uns den Aufbau des gesamten Systems des Horizontes gestattet. Mit diesem wird bei der Anwendung des Meridiankreises nur in der durch den Scheitelpunkt und den Pol festgelegten Ebene gearbeitet, und zwar dient diese Ebene hauptsächlich zur Bestimmung der Zeit, beziehungsweise zur Bestimmung der Sternorte, indem man zugleich ihre Höhe über dem Horizont beobachtet. Messungen auch außerhalb des Meridians gestattet der sogenannte Theodolit oder das Universalinstrument, das hauptsächlich für die geographische Ortsbestimmung in Frage kommt.

Zur Bestimmung der Sternpositionen kann im Notfall auch das auf den Erdäquator und den Himmelspol bezogene System dienen, in dem die parallaktisch montierten Instrumente orientiert sind. Diese Montierung besteht im wesentlichen aus zwei Achsen, von denen die Stundenachse der Erdachse parallel liegt, während die Deklinationsachse senkrecht zu ihr alle Abweichungen vom Himmelsäquator einzustellen gestattet. Alle mittleren und großen Refraktoren sowie Spiegelteleskope und die Geräte zu photographischen Himmelsaufnahmen sind in diesem System orientiert. Indem man die Stundenachse sich in einem Sterntage einmal herumdrehen läßt, kompensiert man die Umdrehung der Erde und hält damit ein einmal eingestelltes Objekt im Gesichtsfeld des Fernrohres fest.

Die Geräte, die im einzelnen zur Messung der Helligkeit dienen, die Photometer, ferner die zur Zerlegung des Lichtes gebrauchten Spektralapparate und schließlich die zu Intensitätsmessungen in den einzelnen Spektralbereichen angewandten Bolometer können hier nicht im einzelnen erläutert werden. Es möge der Hinweis darauf genügen, daß durch Anwendung der lichtelektrischen Photometer, ausgehend von der Eigenschaft des Selens, bei Bestrahlung den elektrischen Strom besser zu leiten als im Dunkeln, gerade durch Anwendung der Alkalizellen, die in Deutschland von P. Guthnick und H. Rosenberg zu höchster Genauigkeit entwickelt wurde, große Erfolge erzielt wurden. Die bestrahlten Zellen mit Alkalimetallen lassen einen sogenannten Photostrom entstehen, der nach der Methode der Aufladezeiten die Lichtstrahlung sehr genau, zehnmal so genau als früher, zu messen gestattet. Wir erreichen damit wohl auch schon die Grenze, die durch die Beschaffenheit der Atmosphäre im Hinblick auf den ununterbrochenen Ausgleich der verschieden warmen Schichten gegeben ist.

V. Die Erforschung der Fixsternwelt.

Die Ergebnisse der Erforschung der Fixsternwelt sind so weitschichtig und umfangreich und dabei durch so wichtige Beziehungen untereinander verbunden, daß ihre Darstellung wegen des Ineinandergreifens der Resultate unvermeidliche Rückverweisungen erfordert. Wir glauben die Einführung dadurch möglichst zu erleichtern, daß wir mit der Darstellung der Ergebnisse beginnen, wie sie zunächst für den Zeitpunkt der einzelnen Beobachtungen erlangt werden. Es folgt dann ein Überblick, der ihre zeitlichen Änderungen berücksichtigt, wobei dieselben Gesichtspunkte der Einteilung wie im ersten Abschnitt maßgebend sein müssen. Ein Gesamtüberblick ist schließlich dadurch zu gewinnen, daß man aus der Verbindung gleichzeitiger Ergebnisse für einzelne Sterne Anhaltspunkte für den Verlauf des Sterndaseins überhaupt zu gewinnen sucht, das im Vergleich zu den Jahrhunderten, die unsere Beobachtungen bisher umspannen, als unendlich lang angesehen werden muß. Die Zusammenfassung höherer Einheiten von Sterngruppen gibt im Verein mit den physikalischen Anschauungen der Gegenwart Anhaltspunkte für kosmogonische Theorien.

Die wichtigste Grundlage für die Erforschung der Fixsternwelt ist, eine gewisse Ordnung unter die Sterne zu bringen, um sie daraufhin nach bestimmten Gesichtspunkten studieren zu können. Eine Zusammenfassung in diesem Sinne hat schon weit vor dem Jahre 2000 vor Chr. stattgefunden, das man bisher für die Einführung der Sternbilder annahm, ohne daß man bisher jedoch einwandfreie Anhaltspunkte für die Datierung angeben könnte. Viele Sternbilder sind mit der griechischen Mythologie aufs engste verknüpft und bedeuten insofern einen besonders reizvollen Abschnitt der Sternkunde. Viele arabische Sternnamen haben sich bis heute erhalten und bilden leider vielfach den Stein des Anstoßes für den dieser Sprache Unkundigen. Glücklicherweise geht der Gebrauch arabischer Sternnamen immer mehr zurück, und wir werden an dieser Stelle auch so wenig wie möglich davon Gebrauch machen. Die heute angewandten Sternbilderbezeichnungen gehen im wesentlichen auf Bayer (1603) zurück und wurden in der Uranometria Nova von Argelander Mitte des 19. Jahrhunderts offiziell zusammengefaßt. Im Bereiche der einzelnen Sternbilder sind die Sterne selbst sowohl mit Rücksicht auf ihre beiläufig geschätzte Helligkeit wie auch ihre Lage zu dem durch das Sternbild selbst wiedergegebenen Gegenstand (meist mit dem Kopf beginnend) nach den Buchstaben des griechischen Alphabets bezeichnet worden. Berücksichtigt man die im 18. und 19. Jahrhundert abgeschlossene Benennung auch der südlichen Sternbilder, so haben wir heute deren 32 am Nordhimmel und 54 am Südhimmel. Für die schwächeren, nur im Fernrohr sichtbaren Sterne genügt die Bezeichnung nach Sternbildern natürlich nicht, und man hat sich daher für die Katalogisierung der Sterne nach anderen Kennzeichen umsehen müssen. Diese ergeben sich in natürlicher Weise aus einer genauen Festlegung des Sternortes, wobei die Wahl des Systems, auf das dieser Sternort bezogen wird, frei steht. Am einfachsten geht man dabei von der Umdrehung der Erde aus und bezieht zunächst die Sternposition entsprechend den aus der Geographie bekannten Lagebezeichnungen der Erdachse auf den

Himmelsäquator. Die Abweichungen der Sterne vom Himmelsäquator werden dabei der geographischen Breite entsprechend als Deklinationen bezeichnet. Ein Stern im Himmelsäquator würde mithin durch den Scheitelpunkt eines Erdortes am Äquator wandern (beispielsweise der Gürtel des Orion über die Stadt Quito in Südamerika). Wie man die Lage der Erdorte auf einen vereinbarten Anfangsmeridian bezieht, der gegenwärtig durch die bei London gelegene Sternwarte Greenwich geht, so hat man am Himmel als Anfangspunkt der Zählung den Schnittpunkt der scheinbaren Sonnenbahn mit dem Himmelsäquator gewählt, der bei Frühlingsanfang der Nordhalbkugel von der Sonne bezeichnet wird. Die astronomische Zeitzählung beruht nun einfach darauf, den Zeitpunkt zu bestimmen, zu dem dieser Frühlingspunkt die Nordsüdrichtung passiert. In diesem Augenblick haben wir 0 Uhr Sternzeit. Die Zeitangabe wird in der Weise angedeutet, daß man das h von Hora hochgerückt neben die Stundenzahl stellt und die Minuten und Sekunden entsprechend folgen läßt. Von einem Durchgang des Frühlingspunktes durch den Meridian bis zum nächsten verfließt gerade ein Sterntag. Die Festlegung des Meridians erfolgt dabei unter Zuhilfenahme einer spiegelnden Quecksilberfläche, die genau im Horizont liegt und deren Senkrechte auf den Scheitelpunkt weist. Ein Stern, der nun mit dem Frühlingspunkt gleichzeitig den Meridian passiert, hat die sogenannte Rektaszension 0^h. Kommt er erst eine Stunde Sternzeit später in den Meridian, so hat er die Rektaszension 1^h. Nebenbei bemerkt ist die Sternzeit und die mittlere Zeit unserer Uhren etwas Grundverschiedenes, da der Sterntag genau einer Erdumdrehung entspricht, während bei dem mittleren Sonnentag unserer Uhren auch die Wanderung der Erde um die Sonne mit berücksichtigt wird. Einem Erdumlauf entsprechen $365^1/_4$ mittlere Tage und $366^1/_4$ Sterntage. Die sogenannten Koordinaten eines Sternes nach Rektaszension und Deklination gelten infolge des Zurückweichens des Frühlingspunktes jeweils für ein bestimmtes Jahr, das man auch in den Sternkatalogen verzeichnet findet. Heutzutage existieren Hunderte von Katalogen dieser Art, deren Zusammenfassung in einer großen „Geschichte des Fixsternhimmels" auf eine Anregung von Kistenpart die Berliner Akademie der Wissenschaften begonnen hat. Dieses Millionen von Zetteln umfassende Unternehmen ist vielleicht das Großartigste der Fixsternastronomie überhaupt.

In derselben Weise wie das System des Äquators nach Rektaszension und Deklination eben angewandt wurde, kann man auch die scheinbare Sonnenbahn oder Ekliptik als Grundlage benutzen. In dieser Weise ist im zweiten nachchristlichen Jahrhundert der große Astronom Ptolemäus vorgegangen, der, an Hipparch anknüpfend, bereits einen Katalog von über 1000 Sternen zusammenstellen konnte. Das System der Ekliptik hat gegenüber dem des Äquators einige technische Nachteile, so daß man es verhältnismäßig bald verlassen hat. Heute ist, um beiden Schwierigkeiten aus dem Wege zu gehen, ein dritter Vorschlag gemacht worden, der die Sternpositionen auf das konventionelle, unveränderliche System der Milchstraße bezieht. Man entgeht dabei einigen Präzessionsberechnungen, hat aber dafür eine etwas umständliche Koordinatentransformation auszuführen.

Mit dem Sternort am Himmel, durch den allerdings nur die Richtung der Sehlinie nach dem Sterne hin bestimmt wurde, ist die wichtigste Grundlage zu

systematischer Arbeit gegeben. Die nächste Aufgabe ist die Bestimmung seiner Helligkeit. Schon im Altertum waren dafür Kollektivbezeichnungen üblich, die man heute einigermaßen auf die moderne Stufenreihe umrechnen konnte. Entsprechend den dem unbewaffneten Auge bei flüchtiger Betrachtung noch deutlich auffallenden Unterschieden hat man von den hellen Sternen erster Größe ausgehend, als deren Vertreter wir hier Vega in der Leier nennen wollen, eine Stufenreihe gebildet, die die schwächsten, dem unbewaffneten Auge ohne Mühe noch erkennbaren Sterne als 6. Größe bezeichnet. Bei genauerer Betrachtung stellt es sich heraus, daß es auch Sterne heller als der gewählte Normalstern gibt, besonders die Planeten überschreiten diese Grenze häufig. Man hat daher folgerichtig die Bezeichnung nullter, — (minus) erster usw. Größe — einführen müssen. Bei Fernhaltung störenden Nebenlichtes liegt übrigens die Grenze der Sichtbarkeit für unbewaffnete Augen nicht bei der 6. sondern mindestens bei der 7. Größe. Die genauere Feststellung der Helligkeitsverhältnisse der einzelnen Sterngrößen führte zu dem für die Physiologie des Auges so wichtigen Ergebnis, daß sich die Helligkeiten der einzelnen Sterngrößen in der Weise verhalten, daß sie bei aufsteigender Nummer der Größenbezeichnung jeweils auf den zweieinhalbten Teil sinken. Die genauere wissenschaftliche Definition geht dahin, daß die Logarithmen der Sternhelligkeiten stufenweise um genau 0.4 abnehmen. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, die Skala für das bloße Auge von der 1. bis zur 6. Größe auch für das Fernrohr und die Photographie zu erweitern. Unsere Sonne hat danach die Sterngröße — 26 und die schwächsten der Photographie noch erreichbaren Sterne sind etwa 20. Größe. Diese Einteilung der Sternhelligkeiten bedeutet mit anderen Worten, daß etwa 16 Sterne 4. Größe oder 100 Sterne 6. Größe oder 4000 Sterne 10. Größe einem Sterne 1. Größe an Helligkeit gleichkommen. Die Anzahl der Sterne der einzelnen Größenklassen wird uns später bei statistischen Erwägungen beschäftigen. Zur Messung der Helligkeit der Sterne dienen die sogenannten Photometer, die nicht eigentlich zu absoluten, sondern zu vergleichsweisen Bestimmungen benutzt werden. Man hat sich auch heute nicht auf einen Normalstern 1. Größe festgelegt, sondern bezieht sich auf besonders vereinbarte Systeme, die von den Sternen am Himmel selbst durch Massenbeobachtung abgeleitet worden sind. Die Schwierigkeit der Festlegung auf einen Einzelstern liegt in dem Einfluß, den seine Farbe auf die Beurteilung seiner Helligkeit durch das Auge ausübt.

Wir werden dadurch mit Notwendigkeit auf die Bestimmung der Sternfarben zurückgeführt, über die uns aus dem Altertum kaum verwertbare Angaben vorliegen. Man beschränkt sich im allgemeinen für das unbewaffnete Auge und die beiläufige Fernrohrbeobachtung auf drei Farben, weiß, gelb und rot, die Osthoff in eine Ziffernskala übergeführt und in einem Farbenkatalog für zahlreiche Sterne festgelegt hat. Der Freund der Sternforschung sollte bei diesem schwer durch Worte und Bilder zu erläuternden Abschnitt sich die unmittelbare Beobachtung einiger roter Sterne am Himmel nicht entgehen lassen, da deren Betrachtung unerwartet interessant ist. Wir nennen als Beispiele für erstaunlich starke Sternfärbung den Granatstern im Kepheus, den Veränderlichen R im Hasen und 19 der Fische. Das menschliche Auge reagiert nun nicht nur in seinen einzelnen Teilen infolge der Stäbchen- und Zapfenanordnung verschieden auf die Sternfärbung, sondern es

zeigt auch von Beobachter zu Beobachter große Unterschiede in den Ergebnissen. Es müssen daher Methoden geschaffen werden, die uns von diesen subjektiven Einflüssen möglichst befreien. Ein Fortschritt dieser Art war die Verwendung der

Abb. 4. Große Nebelwolke der Milchstraße im Schützen.
In der Mitte befindet sich der leicht sichtbare Nebel M 8 und nördlich davon der schöne „dreispaltige Nebel". Wohl die lehrreichste Milchstraßenaufnahme von Prof. E. E. Barnard.

Photographie unter Benutzung verschiedener Filter, von denen die einen die visuelle und die anderen die photographische Helligkeit bestimmen lassen. Man kann weiter in der Weise vorgehen, daß man das aus der Physik her bekannte Spektrum des Sternes sich eng zusammengedrängt denkt und nur die Wellenlänge seiner photo-

graphisch größten Wirksamkeit bestimmt. Auf diese Weise gelangt man zu der „effektiven Wellenlänge", die praktisch von größerer Bedeutung als eine Farbenschätzung ist.

Von hier zum Sternspektrum und seiner genauen Beschreibung ist nur ein kleiner Schritt. Auf diesem Gebiet hat die moderne Astronomie Bewunderungswürdiges in dem sogenannten Draperkatalog geleistet, der die Spektra von Hunderttausenden von Sternen enthält. Dabei hat sich im Anschluß an die Arbeiten von H. C. Vogel, die in Bothkamp begonnen und in Potsdam weitergeführt wurden, eine Typeneinteilung der Spektren entwickelt, bei der in einer Reihe von Klassen, auf die bei der Schilderung des Sterndaseins zurückzukommen sein wird, alle photographierten Sterne untergebracht worden sind.

Die genauere Untersuchung der Sternspektren führt dann in zum Teil schwierige physikalische Einzelheiten, gibt aber auch im allgemeinen wertvolle Anhaltspunkte für die Temperatur der Sterne. Diese wird dabei wesentlich nach der Planckschen Energiegleichung im Hinblick auf schwarze Strahler berechnet. So haben die heißesten Sterne, etwa Kappa und Zeta im Drachen, eine effektive Temperatur von 20000°, unsere Sonne etwa 6000°, und Alpha im Herkules und Beta im Pegasus 3000°. Kältere Sterne entziehen sich durch zu geringe Strahlung der Beobachtung.

Wenn wir als Abschluß dieser Übersicht der Ergebnisse betreffend den Einzelstern noch seine Entfernungsbestimmung besprechen wollen, so greifen wir damit in eine ganze Anzahl von Nachbargebieten über. Die einfachste Methode der Entfernungsbestimmung beruht auf der Messung des Durchmessers des kleinen Spiegelbildes der Erdbewegung, das der Stern während des Jahreslaufes unserer Erde auf der Himmelskugel zu beschreiben scheint. Man kann sich den Grundgedanken dieses Verfahrens leicht vergegenwärtigen, indem man im Walde einen langen Faden am Boden befestigt und den Faden gespannt haltend im Kreise herumwandert. Man faßt dann einen Baum in mittlerer Entfernung ins Auge und betrachtet seine scheinbare Verschiebung in bezug auf die entferntesten, noch eben sichtbaren Bäume. Der Baum in mittlerer Entfernung führt dann scheinbar eine kleine Pendelbewegung aus, die vom Halbmesser des von uns durchwanderten Kreises und dem Abstand des Baumes von dessen Mittelpunkt abhängt. Auch die entfernten Bäume führen kleine Pendelbewegungen aus, die man vernachlässigen darf, sobald der Abstand praktisch unendlich groß wird.

In genau derselben Weise benutzt der Astronom die Wanderung der Erde um die Sonne zur Messung der Sternentfernungen. Diese stellen sich dabei als außerordentlich groß heraus, da die Sterne sich nicht einmal die kleinste Winkelmeßeinheit, die Bogensekunde (bezeichnet durch ″), verschieben. Eine Bogensekunde entspricht auf eine Entfernung von 1 km etwa einer quer zur Sehlinie gelegenen Strecke von 5 mm Länge. Die erste Sternentfernung, die auf diese Weise von Bessel gemessen wurde, war die des Sternes 61 im Schwan. Der Halbmesser der Erdbahn erscheint von dort aus unter dem Winkel von einer drittel Bogensekunde; man sagt daher, 61 Cygni habe eine Parallaxe von 0.3″. Der uns nächste Stern Alpha im Zentauren hat eine Parallaxe von $^3/_4$″. Als Maßeinheit der Längen dient bei den riesigen Entfernungen, um die es sich hier handelt, die Sternweite, die einem Abstand entspricht, aus der der Erdbahnhalbmesser gerade unter dem Winkel einer

Der große Orionnebel.

Ein riesiges Gasgebilde, das vielleicht schon dem freien Auge im Schwertgehenk des Orion erkennbar ist. Mit nur einer Stunde Belichtungsdauer von Prof. G. W. Ritchey mit dem „Zwei Fuß"-Spiegelteleskop aufgenommen.

Die feine Struktur des Nebels geht bei längerer Belichtung leicht verloren.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Bogensekunde erscheint. Diese Sternweite wird auch durch das häßlich klingende Kondenswort Parsec bezeichnet. Im Längenmaß entspricht ihm die Strecke, die das Licht in 3.26 Jahren zurücklegt. Will man diese Entfernung in Kilometern ausdrücken, so ist das Lichtjahr gleich $9^1/_2$ Billionen km anzusetzen. Es haben sich für die hellsten Sterne meist unerwartet große Entfernungen ergeben, so ist z. B. Alpha der Leier etwa 27 Lichtjahre von uns entfernt, Alpha im Adler 15 Lichtjahre. Der Hauptstern des Großen Hundes, Sirius, steht uns mit 8.7 Lichtjahren recht nahe, auch der Hauptstern des Kleinen Hundes ist nur etwa 10 Lichtjahre von uns entfernt.

Ein interessantes Verfahren der Sternentfernungsbestimmung beruht in der Auswertung der Doppelsternmessungen, durch Verbindung der direkten Messungen und der spektroskopisch gewonnenen Verschiebung. Bei Alpha im Zentauren stimmten beide Methoden vollständig überein. Auch die Entdeckung der Sternströme konnte durch Ausnutzung der geometrischen Beziehungen im Hinblick auf die Lage der Sterne zum Konvergenzpunkt und die spektroskopische Geschwindigkeitsbestimmung für die Parallaxenberechnung herangezogen werden. Dieses Verfahren lieferte auch für sehr entfernte Sterne und besonders die Gruppe der Hyaden wertvolle Aufschlüsse.

Auf einem ganz anderen Grundgedanken beruht das durch A. Kohlschütter angegebene Verfahren, das Beziehungen zwischen den Kennzeichen der Spektren und den Leuchtkräften von Sternen mit bekannter Entfernung aufsuchte und heute in der Lage ist, hauptsächlich für Sterne, die den Klassen F bis M angehören, allein aus der Spektralbeschaffenheit die absolute Helligkeit und damit den Abstand der Sterne von uns zu erschließen. Wir greifen mit diesen Andeutungen jedoch schon weit in die Beobachtungsergebnisse hinüber, die sich bei der Verfolgung der zeitlichen Änderungen der Sternpositionen und im besonderen bei ihrer genaueren physikalischen Erforschung ergeben haben und die erst in den folgenden Abschnitten erläutert werden können.

VI. Veränderungen am Fixsternhimmel.

Jahrtausendelang war man der Auffassung, daß die Sonnen am Nachthimmel im Gegensatz zu den eigentlichen Mitgliedern des Planetenreiches des Tagesgestirnes unbeweglich an der Sphäre feststünden und gab ihnen daher den Namen Fixsterne (stellae fixae). Erst Halley war in der Lage, durch Vergleichung der Sternpositionen aus seiner Zeit mit den von Ptolemäus überlieferten eine Ortsveränderung einiger Fixsterne zu erkennen. Heute wissen wir, daß es überhaupt keine feststehenden Sonnen gibt, und von Tausenden von Sternen kennen wir ihre sogenannte Eigenbewegung nach Richtung und Größe genau. Unter den Sternen erster Größe ist Arkturus besonders hervorzuheben, wenn auch seine jährliche Eigenbewegung nur 2.3″ beträgt. Er wird weit übertroffen durch den sogenannten Pfeilstern, einen Zwergstern im Schlangenträger, der im Jahre über 10″ zurücklegt. Es entspricht der Erwartung, daß die uns nächsten Sterne verhältnismäßig große Eigenbewegungen erkennen lassen. Nicht zu erwarten ist jedoch eine Abhängigkeit der Eigenbewegung von der Farbe des Sternes oder genauer gesagt

von seiner Spektralklasse. Diese wird nur dadurch verständlich gemacht, daß die F-Sterne uns durchschnittlich näher stehen als die übrigen Klassen, unter denen die weiter entfernten B-Sterne wohl am weitesten von uns abstehen.

Wir dürfen auch unsere Sonne von dieser Betrachtung nicht ausnehmen, und schon W. Herschel konnte den Zielpunkt der Sonnenreise im Weltall im Sternbilde des Herkules, und zwar nahe der Leier auffinden. Auf die genauere Feststellung dieses sogenannten Apex ist seitdem viel Rechenarbeit unter Berücksichtigung aller erdenklichen Einflüsse verwendet worden und stets fand sich das Herschelsche Resultat allgemein bestätigt. Kleine Verschiebungen, die sich bei besonderer Auswahl der Sterne ergaben, können uns hier nicht beschäftigen, da die Diskussion in dieser Frage noch nicht geschlossen ist. Die Geschwindigkeiten der Sterne liegen beiläufig in der Größenordnung der Geschwindigkeit der Erde bei ihrer Wanderung

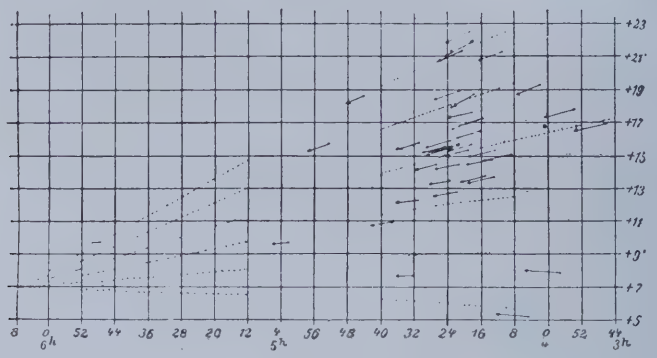


Abb. 5. Der Sternstrom der Hyaden.
Das anschaulichste Beispiel für die Wanderung einer größeren Sternschar nach einem gemeinsamen Ziel.
Die Hyaden im Stier sind 110 bis 160 Lichtjahre von uns entfernt.

um die Sonne. Die Letztgenannte dürfte sich mit einer Geschwindigkeit von 15 bis höchstens 20 km dem Sternbilde der Leier bzw. des Herkules nähern.

Die früher gemachte Annahme, daß die Sterne wahllos in allen erdenklichen Richtungen nach den Gesetzen des Zufalls hinsichtlich ihrer Geschwindigkeiten verteilt wären, zerstörte H. Kobold, und wir wissen heute, daß in der Ebene der Milchstraße mindestens zwei Sterntriften hervorzuheben wären, die man auch auf eine gemeinsame Heerstraße bezogen denken kann, auf der dann die Sterne gewissermaßen vorwärts und rückwärts wandern. Die sogenannte erste Trift enthält mehr Sterne und führt beiläufig in die Gegend des Anti-Apex in das Sternbild des Orion (bei Chi). Die zweite Trift weist dagegen in die Nähe des Adlers zum Sobieskischen Schild. Es hat sich gezeigt, daß man unter diesen Triften noch besondere Ströme unterscheiden muß, so hauptsächlich den Taurus-Strom, dessen interessantester Bestandteil der Sternhaufen der Hyaden ist (Abb. 5). Zu der zweiten Kapteynschen Trift dürfte dagegen der sogenannte Ursa-major-Strom zu rechnen sein, dem unter anderen auch helle Sterne wie Sirius und Gemma angehören. Die Genauigkeit, mit der diese Sterne der letztgenannten Ströme dem perspektivischen Zielpunkt zustreben, setzt den Berechner geradezu in Erstaunen und ist ein wertvolles Hilfs-

mittel zur Bestimmung der Entfernungen der zum Teil weit entfernten Mitglieder dieser Ströme gewesen.

Bei diesen Sonderströmen beobachtet man allerdings gelegentlich erheblich größere Geschwindigkeiten, die bis zu 100 km in der Sekunde ansteigen. Wie wir uns diese Sternströme in den verschiedenen Richtungen zu erklären haben, ist noch nicht einwandfrei festgestellt. Wenn auch die Mädlersche Lehre von der Zentralsonne in den Plejaden oder die Anschauung, daß Kanopus als Mittelpunkt der Fixsternbewegung anzusehen sei, verlassen werden mußte, so deuten doch vergleichende Rechnungen Oppenheims, die die Bewegungen der Kleinen Planeten, wie sie von der Erde aus erscheinen, den Fixsternbewegungen gegenüberstellen, wie sie von der Sonne aus beobachtet werden, darauf hin, daß wir es auch hier mit einer Zentralbewegung zu tun haben dürften. Die Umlaufsdauern der Sonnen um ein wahrscheinlich nicht durch eine größere Masse gekennzeichnetes Zentrum müssen dann allerdings nach Hunderten von Millionen Jahren geschätzt werden.

Wenn man die Farbe eines Sternes als Inbegriff seines Spektrums auffaßt, so müßte man schon aus dem Grunde mit Farbenänderungen der Gestirne im Laufe der Zeit rechnen, weil während der Jahrmillionen ihrer Wanderungen durch das All ihre Geschwindigkeiten in bezug auf uns erheblichen Änderungen unterliegen. Wie die Physik lehrt, bewirkt die Verschiebung einer Lichtquelle gegenüber dem Standpunkt des Beobachters eine Veränderung der Wellenlängen dergestalt, daß etwa charakteristische Linien im Spektrum bei Annäherung der Lichtquelle nach Violett und bei zunehmender Entfernung nach Rot verschoben erscheinen. Das Spektroskop, das insbesondere in Verbindung mit der photographischen Kamera als Spektrograph sehr genaue Festlegung der einzelnen Linien der Sterne in bezug auf irdische Vergleichsspektren gestattet, versetzt uns in die Lage, aus den Linienverschiebungen die Geschwindigkeiten der Sterne in der Richtung des Sehstrahles zu bestimmen. Die Genauigkeit konnte dabei schon auf Bruchteile eines Kilometers gesteigert werden. In Deutschland war H. C. Vogel in Bothkamp der erste (1873), der solche Messungen der Radialgeschwindigkeit vornahm. Damit wurde ein neuer Forschungszweig der Astronomie erschlossen, der in dem letzten halben Jahrhundert herrliche Früchte getragen hat. Die Ergebnisse der Spektralastronomie haben uns zur Lösung von Problemen verholfen, denen man früher fast ratlos gegenüberstand. Die Bestimmung der Radialgeschwindigkeiten der Sterne bestätigte die Bewegung unserer Sonne im Raum und lehrte uns weiter Geschwindigkeiten besonders schwacher Sterne und Nebel kennen, die mehrere 100 km in der Sekunde erreichen. Auch hier zeigen sich bemerkenswerte Abweichungen im einzelnen, wenn das Material nach Spektraltypen aufgespalten wird. Wir können diese noch im Fluß befindliche Frage jedoch hier nicht näher behandeln.

Fortlaufende Messungen der Sterngeschwindigkeiten in der Sehrichtung bewiesen in vielen Fällen, daß diese Geschwindigkeit (nach Berücksichtigung der Erdbewegung) veränderlich ist, ja nach einer bestimmten Periode schwankt. Dies besagt, daß wir es mit einer Umlaufsbewegung zu tun haben, wobei in den meisten Fällen zwei Sterne um das gemeinsame Massenzentrum kreisen. Diese sogenannten spektroskopischen Doppelsterne, von denen wir jetzt schon ein paar Hundert hin-

sichtlich ihrer Bahnen genauer kennen, sind erst eine Errungenschaft der letzten Jahrzehnte.

Schon viel früher wurden eigentliche „Doppelsterne" am Himmel bemerkt, und jedem Freunde der Himmelskunde ist das Paar Mizar-Alkor im Großen Bären bekannt. Das Spektroskop konnte in diesem besonderen Falle zeigen, daß Mizar, den schon ein kleines Fernrohr wiederum als Doppelstern erkennen läßt, aus zwei spektroskopischen Doppelsternen zusammengesetzt ist; auch bei Alkor ist später diese Doppelsternnatur nachgewiesen worden. Wir kennen heute Tausende von Doppelsternen und bei einigen Dutzend von ihnen auch die Bahn genauer. Wenn man zunächst zwei Fixsterne eng benachbart sieht, kann man nicht ohne weiteres entscheiden, ob sie nur zufällig in derselben Blickrichtung stehen, also nur optisch verbunden sind oder ob sie ein System bilden, d. h. physisch zusammengehören. Unter den Doppelsternen, deren Komponenten sich im Fernrohr trennen lassen, hat bisher der Stern Delta im Füllen die kleinste Umlaufdauer mit 5.7 Jahren. Diese ist kürzer als die längste bei einem spektroskopischen Doppelstern gefundene Umlaufsdauer von 10 oder 27 Jahren. Daraus ergibt sich, daß zwischen beiden Klassen keine scharfe Grenze gezogen werden kann. Die Umlaufsdauer der bekannten Doppelsterne erstreckt sich bei einigermaßen sicheren Bahnen schon auf über 100 Jahre. Bei Sirius beträgt sie 50 und bei Prokyon 40 Jahre (Abb. 6).

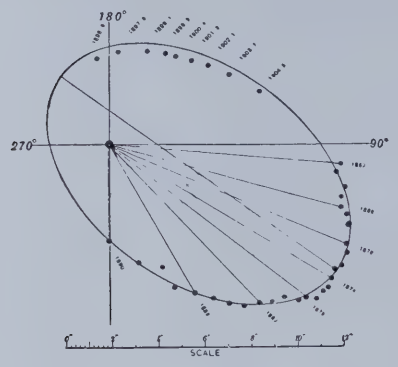


Abb. 6. Sirius als Doppelstern. Der hellste Fixstern Sirius wird von einem schwachen Begleiter in 50 Jahren umkreist, dessen Bahn genau berechnet werden konnte.

Von großem Interesse sind diejenigen Doppelsterne, deren Parallaxe bekannt ist und deren Abstand von uns daher berechnet werden kann. Das dritte Keplersche Gesetz vermittelt uns dann eine Vergleichung zwischen der Masse des Doppelsternsystems und unserer Sonnenmasse. Es hat sich dabei gezeigt, daß die Gesamtmasse auch bei sehr hellen Sternen wie Sirius und Prokyon nur ein kleines Vielfaches der Sonnenmasse, bei anderen Sternen ein Bruchteil davon ist. Ganz besonders schwierig gestaltet sich die Berechnung einer Doppelsternbahn, wenn nicht nur zwei Sonnen umeinander kreisen, wenn wir also einen Doppelstern im eigentlichen Sinne vor uns haben, sondern wenn das System ein mehrfaches ist, und andere Körper störend hinzutreten. In diesen Fällen kann die Bahnbestimmung nur schrittweise erfolgen.

Diese dritten Körper in den Doppelsternsystemen verraten sich durch die Widersprüche, die sich zwischen den Beobachtungen und der günstigsten Bahnberechnung des Systems als Doppelstern ergeben. In besonderen Fällen hat sich schon früher bei hellen Sternen gezeigt, deren Eigenbewegung nicht vollkommen geradlinig, sondern in Wellenform erfolgte, daß auch hier ein störender Körper vorhanden sein müßte — Bessel sagte dies zuerst voraus — und diese vorläufig unsichtbaren Begleiter wurden in späterer Zeit bei Sirius und Prokyon glänzend bestätigt. Wie oben erwähnt, sind Doppelsterne sehr häufig, schätzungsweise ist jeder 18. Stern bis zur 9. Größe

ein solcher, und wenn man die spektroskopischen Doppelsterne hinzurechnet, ist eine solche Duplizität gar bei jedem dritten Sterne zu erwarten.

Ein hochinteressantes, wenig erforschtes Kapitel der Doppelstern-Astronomie bilden die Farben der einzelnen Komponenten und ihre etwaige Veränderung. Hier zeigen sich die im Auge und Fernrohr begründeten Schwierigkeiten in bedauerlicher Menge. So reizvoll ein farbiger Doppelstern im Fernrohr erscheint, wie etwa Gamma in der Andromeda oder Beta im Schwan, so schwierig ist es, die Ursachen der Färbung im einzelnen zu erklären. Wir können nur im allgemeinen sagen, daß der Spektraltypus des Begleiters im allgemeinen weiter fortgeschritten ist als der des Hauptsternes.

Bei den Wanderungen der Sonnen umeinander kann es gelegentlich, wenn die Bahnebene ungefähr durch unsere Sonne geht, dahin kommen, daß ein Stern den anderen verdeckt. Dadurch tritt eine periodische Verringerung der Lichtstärke des Gesamtsystems ein und wir haben dann einen lichtwechselnden Stern vor uns. Ein Musterbeispiel dafür ist der Stern Algol im Perseus, bei dem diese Umlaufsbewegung in nicht ganz drei Tagen geschieht und eine Schwächung des Hauptlichtes während der Bedeckung von der 2. bis zur 4. Größenklasse zur Folge hat. Wir beobachteten auch nach einem halben Umlauf von der Bedeckung an gerechnet eine geringe Abnahme der Algolhelligkeit, wenn der kleinere Begleiter hinter dem Hauptstern steht. Sterne von diesem Algoltypus sind nicht selten und bieten bei genau bekanntem Lichtwechsel interessante Unterlagen zur Berechnung der Dimensionen des Systems. Zu den Veränderlichen dieser Verfinsterungsgruppe, deren Prototyp schon 1667 durch Montanari entdeckt wurde, gehören noch eine Reihe von Sternen, wie Beta in der Leier und Epsilon im Fuhrmann. Bemerkenswerterweise dürfte keiner der Begleiter ganz dunkel anzunehmen sein. Allerdings darf man nicht immer voraussetzen, daß beide Sterne kugelförmig sind; so hat die Rechnung beispielsweise bei W im Großen Bären auf dreiachsige Ellipsoide geführt. Wenn sich in besonderen Fällen die Helligkeitsschwankung photographisch größer erweist als bei Beobachtung mit dem Auge, so ist das darauf zurückzuführen, daß der größere, lichtschwächere Stern röter ist als der andere. Auch bei manchen Algolsternen haben wir Störungen, die durch dritte Körper verursacht werden.

Während wir bei den Verfinsterungsveränderlichen über die Ursache und den Verlauf des Lichtwechsels im klaren sind, kann man dies von den Sternen, die sich in ähnlicher Weise wie Delta im Kepheus verändern, nicht sagen. Ihre Definition ist zunächst negativ dahingehend, daß zur Erklärung des Lichtwechsels die Bedeckungshypothese nicht ausreicht. Ihre Helligkeit nimmt nach dem Kleinstwert verhältnismäßig schnell zu, um dann in recht verschiedener Weise, meist unregelmäßig, bei den einzelnen Sternen wieder abzunehmen. Diese Delta-Kepheïsterne haben dadurch außerordentliche Bedeutung erreicht, daß Miß Leavitt entdeckte, daß die Periode des Lichtwechsels um so länger ist, je heller der Stern ist. Shapley konnte eine sehr enge Beziehung zwischen der Periode und der absoluten Helligkeit angeben. Diese Riesensterne sind enorm viel heller als unsere Sonne und verschaffen uns durch die eben erwähnte Beziehung und den Umstand, daß sie vielfach in Sternhaufen auftreten, die Möglichkeit deren Entfernung zu berechnen. Da wir ja sowohl ihre scheinbare Helligkeit wie ihre Periode direkt bestimmen

können, so ergibt sich mit Hilfe der aus der Periode ermittelten absoluten Helligkeit durch Vergleich mit der beobachteten ihr Abstand.

Die Erklärung des Lichtwechsels dieser Klasse von Veränderlichen bereitet große, noch nicht überwundene Schwierigkeiten. Man ist heute geneigt, den Lichtwechsel auf Pulsationen zurückzuführen, indem man annimmt, daß sich diese riesigen Gaskugeln in freien Schwingungen periodisch ausdehnen und wieder zusammenziehen. Die Unsicherheit dieser Erklärung beeinträchtigt glücklicherweise nicht die für Entfernungsbestimmungen ungemein hohe Bedeutung dieser Gattung von Sternen.

Bei den meist weiter unterschiedenen drei Klassen von lichtwechselnden Sternen haben wir es mit unregelmäßigeren Veränderungen zu tun, die man etwa bei R in der Krone dadurch zu erklären versuchte, daß sich vor dem Stern, der sich sonst ganz unveränderlich verhält, zeitweise dunkle, kosmische Nebelmassen vorüberbewegen.

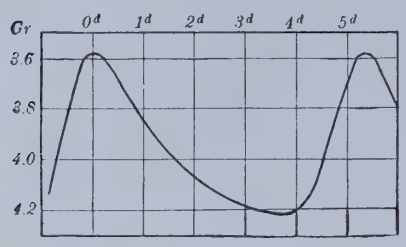


Abb. 7. Lichtwechsel von δ-Kepheï. Diese Art von lichtwechselnden Sternen hat als „Meilensteine im Weltenraum" sehr große Bedeutung für die Entfernungsbestimmung der Sternhaufen.

Ganz anders dürfte dagegen die Lichtschwankung bei den meist roten Vertretern einer Klasse zu erklären sein, deren Hauptvertreter der 1596 von David Fabricius entdeckte wunderbare Stern im Walfisch (Mira Ceti) ist. Seine Periode beträgt etwa elf Monate, kann aber auch ein Jahr überschreiten. Bei dem höchsten Maxima kann seine Helligkeit die 1. Sterngröße, bei dem geringsten gar nur die 5. Sterngröße erreichen. Die kleinsten Werte der Helligkeit kommen etwa zwischen der 8. und 9. Sterngröße vor. Bei anderen Vertretern dieser Klasse liegt die Periode zwischen etwa 100 und 600 Tagen. Mit Fleckenbildung läßt sich dieser Lichtwechsel, dessen Beobachtung dem Sternfreund besonders empfohlen sei, nicht erklären, es handelt sich auch hier gewiß nicht um spektroskopische Doppelsterne. Wahrscheinlich befinden sich diese roten Riesensterne, die nur eine sehr geringe Dichte aufweisen, noch nicht im Strahlungsgleichgewicht und machen daher noch periodische Schwankungen ihres Strahlungszustandes durch.

In ihrer Bedeutung außerordentlich überschätzt wurden bisher die sogenannten Neuen Sterne, von denen wir heute wissen, daß jedes Jahr vielleicht ihrer zehn aufleuchten, die aber leider nicht alle zur Beobachtung gelangen. Sie sind in vielen Fällen schon vorher als schwache Sterne am Himmel vorhanden, zum Teil auf Grund von Karten und photographischen Aufnahmen nachweisbar und nehmen dann in wenigen Stunden, meist kaum zwei oder drei Tagen, in geradezu unglaublicher Weise an Helligkeit zu. So stieg die Helligkeit des Neuen Sternes im Adler 1918 in den ersten Junitagen von der 11. Größe bis über die 1. Sterngröße. Bald nach diesem Aufleuchten ging die Helligkeit wieder zurück und ließ dann periodische Schwankungen erkennen, die ungefähr zwölf Tage dauerten. Die anfangs weiße Färbung des Sternes ging dabei nach Orange über. Auch die Neuen Sterne im Perseus, in den Zwillingen und im Fuhrmann zeigten ein ähnliches Absinken und Schwankungen ihrer Helligkeit von zunehmender Periode. Die Helligkeit,

die der Neue Stern im Adler erreichte, war nicht etwa die größte bisher beobachtete, sondern die Nova, die 1572 in der Cassiopeja aufleuchtete und sogar bei Tage zu sehen war, dürfte ihn noch um ein paar Größenklassen übertroffen haben.

Sehr lehrreich war das Aufleuchten des Sternes in der Malerwerkstatt am südlichen Himmel. Diese Nova Pictoris konnte während ihres im Vergleich zu früheren Erfahrungen enorm langsamen Aufstieges in etwa zwei Wochen von der dritten zur ersten Größe am 9. Juni 1925 genau verfolgt werden. Wir haben daher von diesen Beobachtungen besonders spektroskopisch wertvolle Aufschlüsse zu erwarten.

Den Vorgang beim Aufleuchten eines Neuen Sternes darf man sich nicht durch das Zusammenstoßen zweier Sonnen erklären wollen, da dann das Abnehmen der Helligkeit Jahrmillionen und nicht der Beobachtung entsprechend nur Monate in

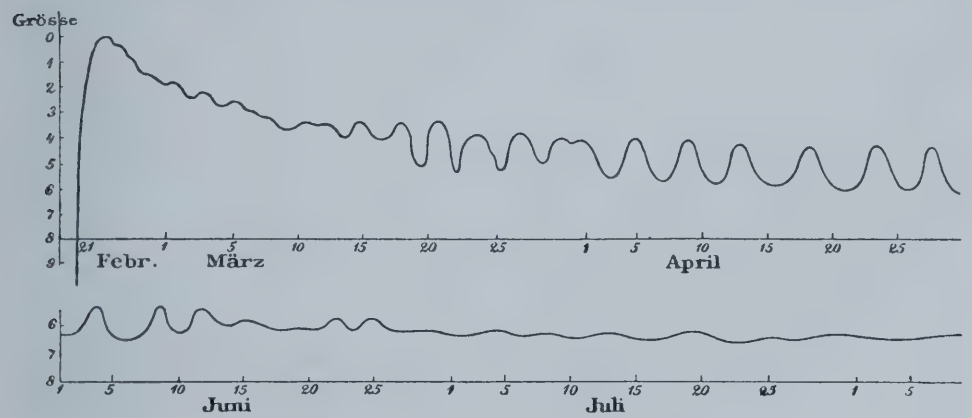


Abb. 8. Lichtwechsel des temporären Sternes im Perseus 1901.
Die für die sog. Neuen Sterne typische Lichtentfaltung beginnt meist sehr rasch und geht dann langsam unter Schwankungen zurück.

Anspruch nehmen würde. Als Auslösung für dieses Aufleuchten der am besten als temporär zu bezeichnenden Sterne kommt wohl das Eintreten in eine kosmische Nebelmasse in Betracht, die sich bei dem Neuen Stern im Perseus auch auf der Photographie deutlich dokumentierte. Bei dieser Gelegenheit dürften die von Zöllner für die Erklärung des Aufleuchtens herangezogenen Ausbrüche aus einer dunklen Oberflächenschicht ausgelöst werden. Die ausgeschleuderten Massen zeigen spektroskopisch Ähnlichkeit mit den Protuberanzen unserer Sonne. Diese Gasmassen umhüllen dann den Kern und machen mit allmählich abnehmender Dichte ähnliche Pulsationen durch, wie wir sie schon bei einer Klasse der veränderlichen Sterne kennen lernten. Schließlich zeigt das Spektrum das Auftreten eines Gasnebels und dann den Übergang des temporären Sternes zu den Wolf-Rayetsternen, deren kosmogonische Bedeutung wir im nächsten Abschnitt berühren werden.

VII. Stellarstatistik und Milchstraßenproblem.

In den vorhergehenden Abschnitten haben wir die Ergebnisse der Beobachtungen betreffend die Lage und Helligkeit der einzelnen Sterne im Raum kennen gelernt sowie über ihre Bewegungen das Wichtigste erfahren. Es handelt sich jetzt darum, aus diesen Ergebnissen zusammenfassend eine Vorstellung vom Aufbau des Universums zu gewinnen, die über allgemein philosophische und mathematische Erwägungen hinaus auch zahlenmäßige Anhaltspunkte gibt. Wir versuchen zunächst einen Überblick der Sternenanzahl zu gewinnen, indem wir das Material hauptsächlich nach dem Plane Kapteyns der Größenklasse der Sterne entsprechend einteilen. Die angegebene Sternzahl entsteht dabei jedesmal als Summe, indem zu der Anzahl der vorhergehenden Größenklasse die Anzahl der folgenden hinzugefügt wird. Die Ergebnisse sind gekürzt folgende:

Größe	Sternzahl	Größe	Sternzahl	Größe	Sternzahl
0.0	2	6.0	4720	12.0	2580000
1.0	12	7.0	15000	13.0	5970000
2.0	39	8.0	46100	14.0	13100000
3.0	105	9.0	139000	15.0	27500000
4.0	445	10.0	379000	16.0	57000000
5.0	1460	11.0	1020000		

Schon allein die Anzahl der Sterne liefert im Hinblick auf ihr Ansteigen mit der Größenklasse wertvolle Anhaltspunkte, denn man übersieht sofort, daß das verhältnismäßige Ansteigen mit zunehmender Größenklasse immer geringer wird.

Um auch einen Anhaltspunkt für die räumliche Verteilung nach den einzelnen Größenklassen zu gewinnen, hat man unter Berücksichtigung aller irgendwie erreichbaren statistischen Merkmale auch die Entfernungen der Sterne zusammenzustellen versucht. Die neuesten Ergebnisse nach Fr. H. Seares sind, wenn wir sie auf Lichtjahre umrechnen, folgende. Zur Verwandlung in Kilometer wäre zu berücksichtigen, daß das Lichtjahr $9^1/_2$ Billionen Kilometer entspricht.

1. Größe	39 Lichtjahre	5. Größe	190 Lichtjahre	9. Größe	840 Lichtjahre
2. „	57 „	6. „	270 „	10. „	1200 „
3. „	87 „	7. „	400 „	11. „	1800 „
4. „	127 „	8. „	580 „	12. „	2600 „

Schon der Anblick des Himmels mit freiem Auge lehrt ohne alle Statistik, daß die Sternverteilung nicht in allen Richtungen gleich stark sein kann, sondern daß das Bereich der Milchstraße erheblich ausgezeichnet sein muß. Abzählungen, die zuerst von Wilhelm Herschel unternommen wurden, bewiesen das Zusammendrängen besonders der schwächeren Sterne gegen die Milchstraße in unzweifelhafter Weise. Mit viel umfangreicheren Grundlagen in bezug auf das Beobachtungsmaterial und an der Hand einer viel eingehender entwickelten Theorie der Sternverteilung bearbeiteten dann hauptsächlich Hugo von Seeliger und Kapteyn dieses größte der stellarstatistischen Probleme. Wir können hier den mathematischen Zu-

Der auch dem freien Auge sichtbare Andromedanebel.

Die größte Spirale, die wir im Universum kennen, fast eine Million Lichtjahre von uns entfernt, etwa ebenso groß wie unsere Milchstraßeninsel. Vierstündige Reflektor-Aufnahme von Prof. G. W. Ritchey. Die einzelnen Spiralwindungen treten erst bei Betrachtung aus größerem Abstand des Auges von der Abbildung (über 60 cm) hervor.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

sammenhang nicht näher erläutern, der auch ohne Infinitesimalrechnung nicht zu verfolgen ist, und beschränken uns daher auf die Ergebnisse. Seeliger hat die Kurven gleicher Sterndichte, bezogen auf das System der Milchstraße, statistisch abgeleitet, wobei besonders der „Knick" des Anstieges der Sternanzahlen bei der 9. Sterngröße für die Begrenzung unseres Milchstraßensystemes von Bedeutung ist. Seeliger bedient sich dabei als Maß nicht der Sternweite, sondern eines Vielfachen davon, der sogenannten Siriusweite, entsprechend 16.3 Lichtjahren. Die von ihm bestimmten Grenzen des Sternsystems gelten für ein typisches Gebilde, das von dem wirklichen im einzelnen nicht unbedeutende Abweichungen zeigen mag, aber, wie schon die Bezeichnung andeuten soll, als Anhalt für die Beurteilung wertvolle Dienste leistet.

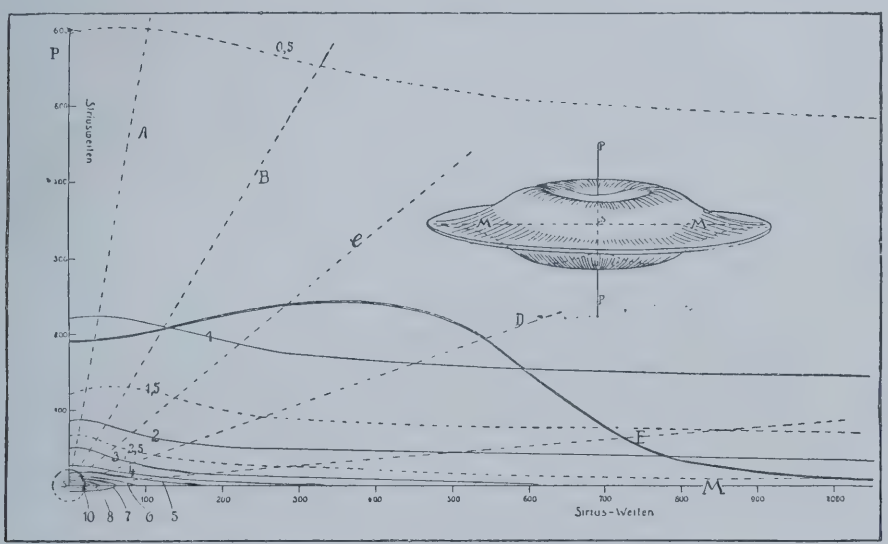


Abb. 9. Die Gestalt der schematisierten Milchstraße.

Nach Seeligers Berechnungen gezeichnet von Dr. A. Kühl. Die Maßstäbe unten und links sind nach Siriusweiten eingeteilt, deren eine etwa eine Million Erdbahnhalbmesser umfaßt oder 16.3 Lichtjahre. Die gewölbten Linien entsprechen der Anzahl der Sterne in einem Würfel von einer Siriusweite Kantenlänge. Die zusammengelegten „Teller" deuten die Gestalt der Milchstraßeninsel an.

Vom Mittelpunkt dieses typischen Sternsystems aus gesehen, den unsere Sonne zwar nicht direkt einnimmt, dem sie aber einigermaßen nahe steht, sind die äußeren Grenzen des linsenförmigen Milchstraßengebildes etwa 1000 Siriusweiten entfernt, während das Sterngebilde senkrecht zur Ebene der Milchstraße nur etwa den fünften Teil dieses Durchmessers erreicht. Man kann sich eine Vorstellung vom Aufbau der Milchstraße leicht durch ein Modell verschaffen, indem man zwei tiefe Teller mit den Rändern aufeinanderlegt. Der Durchmesser von Tellerrand zu Tellerrand entspricht dann etwa 30000 Lichtjahren, während der Abstand von Tellermitte zu Tellermitte nur etwa 6000 Lichtjahre erreicht. Von der Mitte zwischen den beiden Tellern aus gesehen würde also die Gegend der beiden Ränder als „Milchstraße" erscheinen. Seeliger hat auch versucht, die Gesamtzahl der in diesem Raume enthaltenen leuchtenden Sterne anzugeben, und fand dafür 5 Milliarden (Abb. 9).

Kapteyn hat in seiner letzten größeren Arbeit das typische Sternsystem auch dynamisch zu erforschen unternommen. Er wendet dabei die Gesetze der kinetischen Gastheorie auf das Sternsystem an, indem er annimmt, daß es als Ganzes einen stationären Zustand erreicht habe. Aus seinen Erwägungen folgt, daß eine Rotation um eine senkrecht zur Milchstraße stehende Achse vorhanden sein muß. Die Masse eines Sternes nimmt dabei, verglichen mit unserer Sonnenmasse, von innen nach außen von 2.2 bis 1.4 ab. Er findet das bemerkenswerte Nebenresultat, daß die bei seiner Massenberechnung nicht berücksichtigten dunklen Sterne nicht in so erheblicher Menge vorhanden sein dürften, daß sie sein Resultat wesentlich beeinträchtigen. Er läßt einen Teil der Sterne in der einen und den anderen in der entgegengesetzten Richtung umlaufen und erklärt damit die Entstehung der bereits erwähnten zwei Sternströme. Es findet sich weiter, daß bis an die Grenzen des Systems die durchschnittliche Geschwindigkeit der Sterne 20 km in der Sekunde beträgt. Die beobachtete Geschwindigkeit, mit der die beiden Sternströme sich gegeneinander bewegen, beträgt etwa 40 km, was mit der Beobachtung in Einklang steht. Wir dürfen dabei natürlich nicht an die einzelnen Sterne denken, die sich ja wie die Fische im Strom noch mit eigenen Geschwindigkeiten außer der ihnen durch die allgemeine Strömung mitgeteilten bewegen, denn unsere Ergebnisse sind ja statistischer Natur und sollen einen allgemeinen Überblick vermitteln.

Die Durchmusterung des Fixsternhimmels und besonders der Milchstraße zeigt, daß die Sternverteilung an manchen Stellen außerordentlich dicht ist und daß an wenigen Stellen überhaupt keine Sterne stehen. Die letztgenannte Beobachtung hat man durch den Hinweis auf dunkle Nebelmassen erklären können. Bei den Sternanhäufungen haben wir verschiedene Grade zu unterscheiden. Schon im Altertum waren offene Sternhaufen, besonders das Siebengestirn oder die Plejaden und Hyaden im Stier bekannt, wir haben heute verschiedene andere offene Sternhaufen näher untersuchen können, die sich deutlich von Kugelhaufen und noch mehr von den sehr eng gedrängten Sternnebeln unterscheiden, die man meist als Spiralnebel bezeichnet. Das Spektroskop läßt jedoch erkennen, daß wir es hier im wesentlichen mit Sternansammlungen, im Gegensatz zu den selbstleuchtenden oder beleuchteten Gasnebeln, zu tun haben, wie sie einerseits durch den großen Orionnebel und andererseits durch die inneren Plejadennebel repräsentiert werden.

Die Welt der Nebelflecke und Sternhaufen ist uns erst durch die Himmelsphotographie in ihrer überwältigenden Pracht erschlossen worden und bildet gewiß einen Hauptanziehungspunkt der astronomischen Wissenschaft. Es mangelt uns hier an Raum, auf einzelne besonders schöne Gebilde einzugehen, die wir in Auswahl vorführen können (Abb. 10, Tafel I, III, IV). Hinsichtlich der offenen Sternhaufen ergab sich schätzungsweise für die Plejaden im Stier und die Krippe im Krebs ein Abstand von beiläufig 100 Lichtjahren und für den schönsten Doppelsternhaufen dieser Art im Perseus etwa 800 Jahre. Wir dürfen wohl annehmen, daß auch die übrigen zerstreuten Sternhaufen durchaus unserer Milchstraße zuzurechnen sind.

Bei den Kugelhaufen haben uns die in ihnen aufgefundenen veränderlichen Sterne von dem früher geschilderten Typus des Sternes Delta im Kepheus die Möglichkeit der Entfernungsbestimmung verschafft. Shapley hat auf diese Weise die Abstände zahlreicher Kugelsternhaufen berechnet und ist dabei auf Entfernungen

Abb. 10. Die Milchstraße im Sternbild des Adlers.
Der große weiße Fleck ist durch Lichtwirkung des Hauptsterns Altair während der 5 Stunden 10 Minuten der Aufnahme entstanden. Rechts oben (nordwestlich) von Altair liegt die „Dreiteilige Höhle" als dunkler Nebel in der Milchstraße. (Aufnahme von Prof. E. E. Barnard.)

von 2000 bis 40000 Sternweiten gekommen. Da die Sternweite etwa $3^1/_4$ Lichtjahren entspricht, so würden wir mit über 120000 Lichtjahren schon aus dem eigentlichen Bereich der Milchstraße erheblich herauskommen, wenn auch ein großer Teil der Kugelhaufen noch die engere Verbindung mit uns aufrecht erhält. Bei genauer Berechnung der Sternverteilung in den Kugelhaufen gewinnt man Andeutungen

für ellipsoidische Verteilung und damit die Möglichkeit, eine Brücke zu den heiß umstrittenen Sternnebeln oder Spiralnebeln zu schlagen. Diese Spiralnebel erscheinen uns in der Figur eines Feuerrades mit zwei gegenüberliegenden Hauptausstrahlungspunkten, wie der Spiralnebel in den Jagdhunden besonders deutlich erkennen läßt.

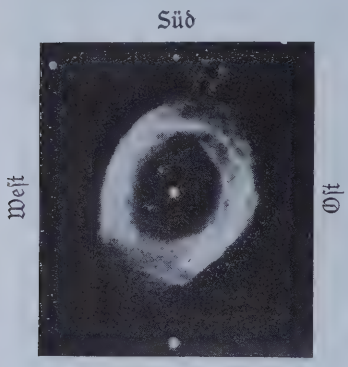


Abb. 11. Der Ringnebel in der Leier.
Eine eigenartige Form der sog. planetarischen Nebel, die zu den Gasnebeln gehören. Der Nebel hat etwa den Winkeldurchmesser des Jupiter und ist leicht sichtbar.

Es dürfen jedoch nicht blindlings alle spiralförmigen Nebel in der Weise beurteilt werden, daß es nur Sternnebel (ferne Milchstraßen?) wären, sondern auch ihre Farbe, ihr Spektrum, ist genau zu beachten. Es gibt auch wenige Gasnebel von Spiralform, diese erscheinen jedoch meist blaugrün im Fernrohr. In den weitaus meisten Fällen knüpfen die Gasnebel an einen Stern irgendwie an und erscheinen dann als Sternnebel, als Nebelscheibe (sog. planetarischer Nebel) oder als Nebelring. Den Übergang von hier zu den wolkenartigen Gebilden (wie im Orion) bilden Nebelfetzen, wie sie der dreispaltige Nebel im Schützen zeigt.

Man darf sich jedoch die Ähnlichkeit der Spiralnebel mit den Feuerrädern nicht allzu weitgehend ausmalen, da sich unerwarteterweise die Spiralarme, wenn sie sich überhaupt drehen, mit der hohlen Seite vorauszubewegen scheinen. Der Streit um die Drehung der Spiralnebel ist unter den Astronomen durchaus noch nicht zum Abschluß gelangt, weil es sich hier um Messungen von außerordentlich unsicher definierten Objekten, nämlich der kleinen Knötchen und Verdichtungen der Spiralarme handelt. Man hat früher durch den Hinweis auf die verhältnismäßig schnelle Umdrehung der Spiralarme die Lundmarkschen Berechnungen betreffend die Spiralnebel zu widerlegen versucht. Auf dem letzten Astronomenkongreß in Leipzig im September 1924 trug der genannte Gelehrte jedoch eine Reihe von Argumenten dafür vor, daß wir die Spiralnebel doch als Gebilde in sehr großer Entfernung von uns, wahrscheinlich als selbständige Weltinseln im All auffassen müssen. Er bezieht sich dabei im besonderen auf den interessantesten Spiralnebel, den einzigen, den man auch mit unbewaffnetem Auge in der Andromeda erkennen kann. Er weist

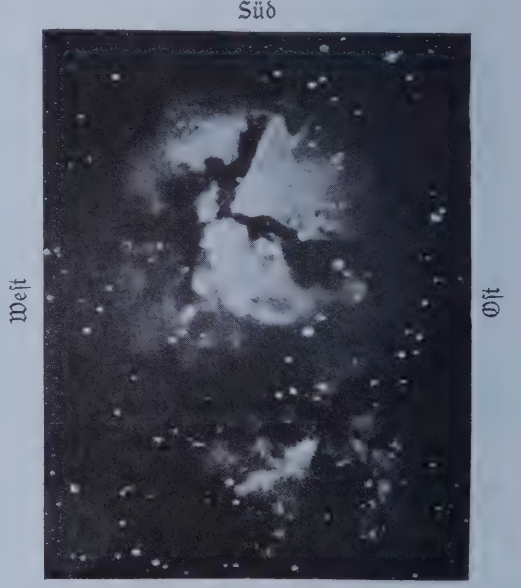


Abb. 12. Dreispaltiger Nebel im Schützen.
Nach einer dreistündigen Belichtung mit einem Reflektor von Keeler. Der Nebel besteht aus Gas.

zunächst darauf hin, daß die im Spiralnebel in der Andromeda aufgeleuchteten neuen Sterne für seinen Abstand von uns etwa den 28fachen Durchmesser unserer Milchstraße ergeben (28 × 30000 Lichtjahre, etwa rund einer Million Lichtjahre entsprechend). Den gleichen Zahlenfaktor 28 erhält man auch bei der Vergleichung

Abb. 13. Der sog. Omega- oder Schwannebel (N. G. C. 6618).
Dieser große Gasnebel im Schützen hat etwa die Helligkeit eines Sternes 7.—8. Größe und kann schon in kleinen Fernrohren gesehen werden. Maßstab 1 mm = 7.2″.

der mittleren Abstände der Spiralnebel mit ihrem Durchmesser. Zusammenfassend gibt er an, daß die nächsten Spiralnebel weiter von uns entfernt sein dürften als 30000 Lichtjahre, während die entferntesten die Million Lichtjahre wohl nicht allzuweit überschreiten dürften. Die letzten photographischen Forschungen haben auch Delta-Kephei-Sterne im großen Andromeda- und Dreieck-Nebel nachweisen lassen. Es wurde beider Abstand nahezu gleich, zu etwa 900000 Lichtjahren, gefunden.

VIII. Kosmogonische Ausblicke.

Wenn nachstehend der Versuch gemacht werden soll, den Werdegang der Welt im Zusammenhange zu schildern, so darf dabei nicht außer acht gelassen werden, daß die einzelnen Abschnitte verschieden sicher durch Beobachtungsdaten gestützt sind. Für die Bildung der Weltinseln aus dem Chaos haben wir im einzelnen kaum Anhaltspunkte, während wir über den Lebenslauf der einzelnen Sonnen heute schon so weit orientiert sind, daß sich eine erstaunliche Menge von Beobachtungstatsachen in zusammenhängender Darstellung einheitlich wiedergeben läßt. Über gewisse Einzelheiten, wie die Kleinen Planeten und Kometen, sind wir allerdings noch im Ungewissen, wenn auch die hier gegebene Darstellung nirgends mit den Beobachtungsdaten im Widerspruch zu stehen scheint. Da die einzelnen kosmogonischen Theorien in vieler Hinsicht gemeinsame Züge haben, so dürfen wir uns hier darauf beschränken, an einigen Stellen das Wesentliche hervorzuheben, um den Leser nicht durch Wiederholungen zu ermüden. Wir begrüßen zugleich die Gelegenheit zu einem Hinweis darauf, daß heute früher fast vergessene Anregungen deutscher Forscher, wir weisen in erster Linie auf Kant und Ritter hin, zu verdienter Anerkennung gelangen.

Die allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels von Kant, die 1755 erschien, gelangte erst in den letzten Jahrzehnten zu wissenschaftlicher Anerkennung, die ihr Alexander von Humboldt vergeblich zu verschaffen versuchte. Wir widersprechen an dieser Stelle ausdrücklich einer Berechtigung, abkürzend von einer Kant-La Placeschen Nebularhypothese zu sprechen, da die 40 Jahre später entwickelte Theorie des großen französischen Astronomen auch nicht durch die Geschicklichkeit seines genialen Landsmanns H. Poincaré von den ihr anhaftenden Widersprüchen befreit und als schlechthin beste Erklärung desselben Aufbaues erwiesen werden konnte. Kant geht von der überall vorhandenen Gleichheit der chemischen Elemente in einem Urnebel aus, der den ganzen Weltenraum erfüllen soll. In diesem Raum entstehen Massenansammlungen, und die sich zusammenballenden Teilchen ziehen sich untereinander an. Kant nimmt in Unkenntnis der Gesetze der Himmelsmechanik an, daß auf diese Weise die Rotation eines Zentralkörpers schließlich entstehen könnte. La Place entgeht dieser Schwierigkeit, indem er von vornherein einen rotierenden Nebelball annimmt. Auch er zeigt sich mit den Gesetzen der Himmelsmechanik in Widerspruch, als die Entdeckung des Neptun die Berechnung der Flächengeschwindigkeiten aller Teilchen des Sonnengasballes weiter als früher auszudehnen gestattete. Auch die Rückläufigkeit und die starken Bahnneigungen der Monde des Uranus vermochte La Place nicht zu erklären, während Kant in bescheidener Weise diese Lücken in seinem System offen zugab. Lange galt der Versuch mit einer rotierenden Ölkugel nach Plateau als Beweis der La Placeschen Abschleuderungstheorie zur Erklärung der Planetenbildung, aber heute wissen wir, daß der Plateausche Versuch keine durchschlagende Beweiskraft besitzt, weil er nur durch Anwendung eines Tricks gelingt. Der der Ölkugel bei der Umdrehung zu erteilende Ruck kommt in der Natur zweifellos nicht vor, und damit verliert dieses an sich so hübsche Experiment sein astronomisches Interesse.

Um die bisher bestehenden Schwierigkeiten der Kantschen Theorie zu beseitigen, entwickelten der Geologe Chamberlin und der Astronom Moulton ihre neue Einsturzhypothese. Diese nimmt an, daß außer dem Sonnennebel noch andere Urnebel vorhanden waren, die alle in zufälligen Bewegungen begriffen waren. Durch die gegenseitige Einwirkung dieser Urnebel aufeinander sollen nun, wie wir sie von der

Abb. 14. Der Sternhaufen „Messier 13" im Herkules.
Aufgenommen mit dem 40zölligen (über 1 m Durchmesser) Refraktor der Yerkes-Sternwarte von Prof. G. W. Ritchey. Das Originalnegativ enthält mehr als 3000 Sterne. Der Haufe ist auch in kleinen Fernrohren leicht sichtbar. Er ist etwa 36000 Lichtjahre von uns entfernt.

Einwirkung des Mondes auf die Erde her kennen, Flutberge hervorgerufen sein, die die Ausströmung größerer und kleinerer Massen, der Planetenkerne, vorbereiteten. Auf diese Weise sollen dann die Spiralnebel in Betrieb gesetzt worden sein. Uns will es nicht einleuchten, daß hiermit ein ungewöhnlicher Fortschritt Kant gegenüber gemacht worden sei, denn man braucht ja nur die Bezeichnungen

der Teilchen des Urnebels zu verändern, um dort dieselbe Beziehung der Nebelmassen untereinander zu sehen, wie sie hier angenommen wird. Schließlich bedeutet auch die Meteoritentheorie von Lockyer keine umstürzende Neuerung gegenüber der Kantschen Lehre, da sie im wesentlichen den rotierenden Gasball durch einen gewaltigen Schwarm von Meteoren aller Art ersetzt. Diese Meteore zogen sich nach dem allgemeinen Gravitationsgesetz an und verdichteten sich in derselben Weise, wie das auch die Einsturztheorie lehrt. Im Gegensatz zu der früheren Auffassung, daß sich aus dem Sonnennebel allmählich die Planeten und aus diesen erst die Monde gebildet hätten, wird hier die viel einleuchtendere Lehre vorgetragen, daß Sonne, Planeten und Monde im wesentlichen zur gleichen Zeit entstanden und nur durch die überlegene Masse der Sonne zu dem uns bekannten System vereinigt wurden.

Die Lockyersche Theorie, deren Bedeutung früher erheblich unterschätzt wurde, leitet ohne jede Schwierigkeit zu den modernen Anschauungen über den Lebenslauf der Fixsterne über, deren Darstellung wir jetzt beginnen wollen. Das Dasein einer Sonne beginnt danach in der Form eines riesigen, zunächst rot leuchtenden Gasballes, in dem die Meteorteilchen in feinster Verteilung schweben, wobei ihre gegenseitige Massenanziehung bis zu einem wesentlichen Teile durch den Lichtdruck aufgehoben wird.

Wenn wir auch die umfassende Darstellung des Fixsterndaseins den Arbeiten von Eddington aus dem letzten Jahrzehnt verdanken, so sollte doch keineswegs die schon 1883 veröffentlichte Entwicklungstheorie der Sterne von Ritter unterschätzt werden. Sie stimmt vollkommen mit der Russellschen Theorie überein und enthält vor allem schon die fruchtbare Vorstellung von den roten Riesen- und Zwergsternen. Nach Ritter entstehen die Sterne aus nebliger, kosmischer Materie, die bei allmählicher Zusammenballung so heiß wird, daß wir sie als Stern erkennen können. Die in den Weltenraum ausgestrahlte Energie wird Veranlassung zur Zusammenziehung des Sternes. Der Entwicklungsgang ist hauptsächlich gekennzeichnet durch den zunächst erreichten Höchstwert der Energieausstrahlung, der der größten Helligkeit des Sternes entspricht. Diesem folgt der Höchstwert der Oberflächentemperatur, nach dessen Überschreitung der Stern mit zunehmender Dichte wieder rötlich wird. Ritter wußte auch schon, daß ein Stern mit kleiner Masse seine Entwicklung rascher zurücklegt, als ein solcher mit großer, was für das Verständnis des Lebenslaufes der Planeten von besonderer Bedeutung ist.

W. Nernst hat neuerdings auch den zeitlichen Verlauf der Temperaturkurve im Anschluß an die radioaktiven Prozesse zu bestimmen versucht. Nimmt man die Masse unserer Sonne als Mittelwert an, so ergeben sich für den Anstieg bis zur höchsten Helligkeit etwa eine Milliarde Jahre im Bereich des für uns Sichtbaren und für den Abstieg mindestens 4 Milliarden Jahre, womit aber nur die Größenordnung ungefähr angedeutet sein soll. Die Untersuchungen Eddingtons über den Aufbau und den Werdegang eines Fixsternes schließen sich, wie gesagt, an die Kontraktionstheorie an. Ihre Voraussetzungen beruhen zunächst im Gravitationsgesetz, d. h. der Bedingung, daß der Druck in jeder Schicht im Inneren des Sternes genau dem Gewicht der darüberliegenden gleich sein muß. Ferner benutzt er die sogenannte Gasgleichung, die für Temperatur, Druck und Dichte eines Gases gilt. Er ist dabei gezwungen, bei der hohen Dichte der alternden Sterne diese Gas-

gleichung zu erweitern, worin wohl eine gewisse Schwäche dieser im einzelnen noch ausbaufähigen Theorie besteht. Als dritte Hauptannahme dient die Bedingung des Strahlungsgleichgewichtes. Als diese drei Grundlagen bei ihrer mathematischen Auswertung auf unüberwindliche Schwierigkeiten stießen, griff Eddington in glücklicher Weise auf den vorher nicht berücksichtigten Strahlungsdruck zurück.

Die Folgerungen seiner Theorie lassen sich dahingehend zusammenfassen, daß die Massen aller uns sichtbaren Sterne nahezu gleich groß sein müssen (10^{33} bis 10^{34} Gramm, wobei die Masse der Sonne 1.9×10^{33} Gramm beträgt). Sterne mit größerer Masse können sich nicht halten, weil hier der Strahlungsdruck im Inneren so groß wird, daß die Schwerkraft ihn nicht mehr zu überwinden vermag, so bald auch nur der kleinste Anstoß etwa durch die Zentrifugalkraft gegeben wird. Ist die Masse des Sternes wesentlich kleiner, so erreicht er auch auf dem Höhepunkt der Steigerung seiner Energieausstrahlung nicht mehr den unseren Forschungsmitteln zugängigen Bereich. Wie Prof. Stroemgren einmal sagte, sehen wir hier den Stern gewissermaßen zwischen Scylla und Charybdis eingeschlossen. Zu Beginn seines Daseins hat der Stern eine Dichte, die 10000mal geringer sein mag, als die des Wassers bzw. als die der Sonne. Der einzige treibende Faktor ist bei seinem Entwicklungsgang die durch die Ausstrahlung hervorgerufene Zusammenziehung. Dadurch wird seine mittlere Dichte fortgesetzt größer. Die Oberfläche des zusammenschrumpfenden Sternes wird bei steigender Temperatur kleiner und dadurch bleibt seine Helligkeit in diesem ersten Abschnitt seines Daseins nahezu unverändert, was durchaus mit den statistischen Ergebnissen im Einklang steht. Auch die sehr geringe Dichte der Nebelmassen des Anfangs, die man daher als rote Riesensterne bezeichnet, findet sich sowohl durch die direkten Interferometermessungen von Michelson, wie auch durch die indirekten Bestimmungen der Fixsterndurchmesser von Wilsing u. a. bestätigt. Auf Grund dieser Ergebnisse können wir uns eine solche rote Riesensonne so groß (daher „Gigant") vorstellen, daß ihr Umfang gar dem der Erdbahn entspricht.

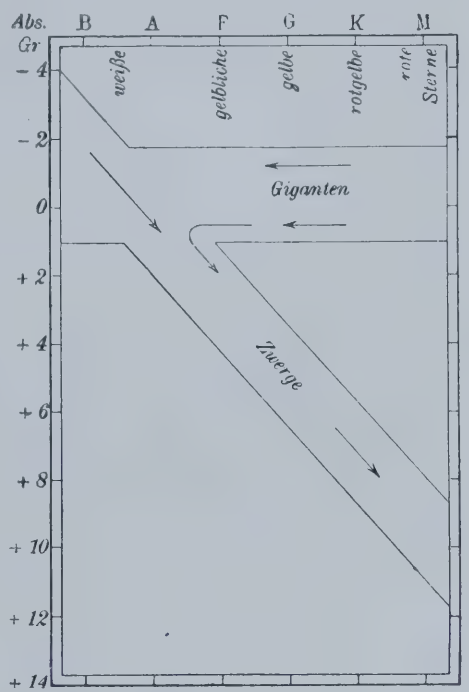


Abb. 15. Schematischer Verlauf des Sterndaseins.

Wiedergabe der Russelschen Entwickelungsreihe nach K. Graff. Der Lauf beginnt rechts oben bei den roten Giganten (Farbe und Bezeichnung siehe oben) und führt dann über das weiße Stadium bei abnehmender Helligkeit (siehe Teilung links) zu den roten Zwergen.

Der Maximalwert der Oberflächentemperatur, den ein Stern erreichen kann, hängt von der Masse ab, die ursprünglich dazu kam, einen Stern zu bilden. Um eine Oberflächentemperatur von 3000° zu erreichen, muß die Sternmasse etwa

$^1/_7$ der Sonnenmasse sein, bei unserer Sonne selbst dürfen wir mit dem zeitlich bereits weit überschrittenen Höchstwert von 9000° rechnen, und bei einem Stern von 4facher Sonnenmasse führt die Theorie in Übereinstimmung mit der Erfahrung auf eine Maximaltemperatur von 15000°. Nach Überschreitung dieses Höhepunktes altert der Stern mit zunehmender Dichte verhältnismäßig langsam. Der Energiegewinn durch Zusammenziehung vermag den Verlust nicht mehr vollständig zu decken, der Gasball entfernt sich vom Idealzustand, da bereits teilweise Annäherung an die Dichte von Flüssigkeiten erfolgt. Hier beginnen Schwierigkeiten für die Theorie, die jedoch Einzelheiten betreffen und ihren großartigen Gesamtbau nicht mehr zu erschüttern vermögen. 1921 wurde auch die Deutung der spektroskopischen Ergebnisse bei den Fixsterntypen im einzelnen möglich, durch die die verschiedenen Phasen der Sternentwicklung vorläufig nach Buchstaben (siehe Abb. 15) gekennzeichnet waren. Wir verdanken diese Untersuchungen Megh Nad Saha, Professor der Physik an der Universität Kalkutta.

Ihre Darstellung gehört im wesentlichen in das Gebiet der Physik, da ihre Einzelheiten hinsichtlich des Ionisationsgrades der wesentlichen Elemente bei verschiedenen Temperaturen und Drucken verschiedene Vorkenntnisse über den Atombau notwendig machen. Wir haben hier Aufschlüsse im einzelnen erhalten, die uns sogar das Verhalten von besonderen Spektrallinien auf den einzelnen Sternen erklären und verständlich machen, warum manche bisher gesuchten Elemente sich trotz ihres Vorhandenseins durch eigenartige Lagerung der Linien der Beobachtung entziehen können.

Bei der bisherigen Darstellung ist auf einige Sonderfälle noch nicht Rücksicht genommen worden. So darf beispielsweise nicht erwartet werden, daß die allmähliche Zusammenziehung des Sternes stets zu einer kugelförmigen Sonne führt. Es kann auch ein dreiachsiges Ellipsoid entstehen, das bei weiterer Zusammenziehung und zunehmender Zentrifugalkraft bei der Umdrehung sich zu einem birnförmigen Körper auseinanderzieht und schließlich teilt; auf diese Weise mögen einige Doppelsterne entstanden sein. Weiter ist zu beachten, daß ein Stern auf dem Höhepunkt seiner Entwicklung instabil werden und vielleicht sogar zerplatzen kann. Möglicherweise sind die planetarischen und Ringnebel als solche Sonderformen des Sterndaseins aufzufassen. Über das Schicksal der dunklen Sonnen sind wir noch im Ungewissen, doch geben vielleicht die Beobachtungsergebnisse der temporären Sterne hier einige Anhaltspunkte.

Nach der Lockyerschen Theorie dürfen wir annehmen, daß sich mit den Sternen auch gleichzeitig die Planeten bildeten. Da deren Massen sehr viel geringer als die unserer Sonne sind, so erreichte ihr Dasein auch auf dem Höhepunkt der Entwicklung viel niedrigere Temperaturen. Wir dürfen diese Anschauung auch auf den Erdmond und die anderen Planetenbegleiter ausdehnen, da die Himmelsmechanik darauf hindeutet, daß alle Monde von den Hauptplaneten eingefangen wurden.

Es hieße wohl kaum die Theorie überspannen, wenn wir selbst so kleine Himmelskörper wie die Planetoiden von nur wenigen Kilometern bis zu einigen hundert Kilometern Durchmesser ebenfalls durch Zusammenstürzen kosmischer Bausteine erklären. Ihnen entsprechen, was die Form und Lage der Bahnen angeht, die Kometen, die wohl den primitivsten Zustand des Weltbaustoffes unserer Beob-

achtung darbieten. Wenn die Erde die Bahnen von Haarsternen kreuzt, haben wir ja auch unmittelbar Gelegenheit, die kleinsten Bausteine des Weltalls als Sternschnuppen aufleuchten zu sehen.

Abb. 16. Der weitzerstreute Sternhaufen „Haar der Berenike".
Oberhalb des Großen Löwen schon im Opernglas leicht erkennbar. Der feine Strich links von der Mitte (24 mm vom Rande) stellt einen Nebel (10. Gr.) dar, der 10′ lang und 1′ breit ist. Der nebelige Hauch hinter den Sternen dieser Aufnahme von Prof. E. E. Barnard ist ein Kunstprodukt.

So reizvoll auch dieses kosmische Feuerwerk sein mag, wenn die Sternschnuppen dicht wie Schneeflocken fallen, so hat doch diese Feststellung letzten Endes einen gewissen tragischen Zug. Wie wir sehen werden, läßt sich im Spektrum der Kometen

Kohlenmonoxyd nachweisen, ein geruchloses, aber sehr giftiges Gas. So ist schließlich die Möglichkeit gegeben, daß die ersten Grundstoffe der Welt, aus denen auch unser Planet vor unvorstellbarer Zeit entstand und Leben in so mannigfaltiger Form hervorgehen ließ, auch imstande sind, dieses Leben wieder zu vernichten.

IX. Allgemeine Orientierung im Sonnenreich.

Zum Studium unseres Sonnenreiches bedürfen wir zunächst einer allgemeinen Orientierung über die Fixsterne und Planeten, über ihre Bahnbestimmung und schließlich über die Dimensionen sowohl der Abstände der einzelnen Himmelskörper als auch ihrer Durchmesser, damit wir danach uns ein zutreffendes Bild von den tatsächlichen Größenverhältnissen machen können.

Es ist eine noch nicht vollkommen geklärte Frage, zu welcher Zeit wir die Entdeckung der Wandelsterne im Gegensatz zu den Fixsternen annehmen dürfen. Die Auffindung astronomischer Skizzen in Skandinavien läßt darauf schließen, daß die „Wandler" im Vergleich zu den Standsternen viele Tausende von Jahren vor Beginn unserer Zeitrechnung bemerkt worden sind. Die Schleifen ihres geozentrischen Laufes haben auch den vorgeschichtlichen Menschen so tiefen Eindruck gemacht, daß sie auf den Höhlendarstellungen ungewöhnlich hervorgehoben erscheinen.

Erst wenige Jahrhunderte vor Chr. beginnt die Klärung der Frage im Einzelnen, wie es mit den Morgen- und Abendsternen steht, ob es sich dabei etwa um einen und denselben Wandelstern handelt, der die Sonne umkreist. Wir wissen von den Vorläufern des Coppernicus, daß die ersten unter diesen schon der vorplatonischen Zeit angehören, und dürfen wohl heute mit einiger Sicherheit behaupten, daß das sogenannte geozentrische Weltsystem der Alten nur die offizielle Darstellung für die Allgemeinheit war, während die Eingeweihten die allgemeine Lösung des Rätsels der Planetenbewegung im heliozentrischen Sinne geheim hielten.

Nur unter dem Gesichtspunkt der sog. Geheimwissenschaften wird verständlich, wie die Lehre von der Sphärenharmonie, aufgebaut auf der Kugel als dem vollkommensten Gebilde, unter den Schülern Platons entwickelt werden konnte.

Praktisches Interesse an den Sterneinflüssen im Sinne der Astrologie hat schon früh zu einer sorgfältigen Beobachtung des Planetenlaufes und der Bestimmung ihrer Umlaufszeiten, ja sogar der Perioden geführt, nach denen sich ihre Stellungen von der Erde aus gesehen in sehr ähnlicher Weise wiederholen. Schon den Chaldäern war neben der Finsternisperiode des sogenannten Saros von 18 Jahren und 10 bzw. 11 Tagen auch die Merkurperiode bekannt, nach der sich dessen Stellungen mit großer Genauigkeit im Verlaufe von 46 Jahren wiederholen. Wir haben sogar aus dem 5. Jahrhundert eine Keilschrifttabelle, die zeigt, daß man schon lange vor Christi Geburt imstande war, allgemeine Vorausberechnungen über den Lauf der Planeten mit befriedigender Genauigkeit zu geben. Der demotische Papyrus P 8279 bietet sogar für eine lange Reihe von Jahren um Christi Geburt Vorausberechnungen über den Planetenlauf durch die einzelnen Tierkreisbilder.

Die Erweiterung unserer Kenntnisse über die Glieder des Sonnenreiches erfolgte hinsichtlich der Planeten beim Uranus durch systematische „Durchmusterungs-

arbeiten" des ganzen Himmels durch Wilhelm Herschel und beim Neptun durch jene glänzende Anwendung der Himmelsmechanik auf den Herschelschen Planeten, die gleichzeitig von Le Verrier und Adams unternommen wurde. Nach denselben Gesichtspunkten versucht man auch heute noch die Grenzen des Sonnenreiches weiter hinauszurücken, aber, wie nach der kurzen Zeit, die unsere Beobachtungen des Neptun erst umspannen, von vornherein einleuchtet, noch ohne Erfolg.

Bei den Kleinen Planeten, deren erster in der Neujahrsnacht des 19. Jahrhunderts aufgefunden wurde, bediente man sich ebenfalls des Durchmusterungsverfahrens, d. h. der Vergleichung der Sternkarten mit dem Himmel, wodurch sich neue Objekte sofort bemerkbar machten. Es erfuhr eine außerordentliche Erweiterung durch die von Max Wolf eingeführte Anwendung der Himmelsphotographie, bei der sich die Kleinen Planeten durch den kurzen Strich verraten, den sie während der Dauer der Aufnahme unter den Sternen ziehen. Nur durch die bewunderungswürdige Sorgfalt, die Wolf und nach seinem Institut auch andere Sternwarten den weit über tausend Kleinen Planeten angedeihen lassen, ist es möglich, auf diesem Gebiet der Himmelsforschung noch auf dem Laufenden zu bleiben.

Bei den Kometen hat sich die Anwendung der Himmelsphotographie in gleicher Weise bewährt, wenn auch neben ihr die unmittelbare Durchmusterung des Sternhimmels noch gelegentlich geübt wird. Hierbei verrät sich der Komet den Sternen gegenüber als kleines nebliges Fleckchen, dessen Bewegung in gleicher Weise wie bei den Planeten ausschlaggebend ist. Leider sind heute jene erfolgreichen Kometenjäger so gut wie ausgestorben, die früher diesen fesselnden Sport, wie man beinahe sagen möchte, betrieben haben. Dies ist aus dem Grunde zu bedauern, weil ja Kometen hauptsächlich in der Nähe der Sonne, und zwar häufiger am Morgenhimmel als am Abendhimmel aufgefunden werden, wo die Dämmerung störend auf die photographische Platte einwirkt, also dies Verfahren ausscheidet. Allerdings ist der Arbeitsaufwand einer Kometenentdeckung nicht unerheblich. Brooks schätzte früher 300 bis 500 Stunden, welchen Betrag auch Verfasser bestätigen kann.

Die Bahnbestimmung der in dieser Weise aufgefundenen Himmelskörper ist heute verhältnismäßig einfach nach den aus dem Newtonschen Gesetz abgeleiteten Methoden möglich. Es kann an dieser Stelle nicht unsere Aufgabe sein, dies näher zu erläutern, weil dazu umfangreiche mathematische Vorbereitungen erforderlich sind. Uns kann das Problem nur insoweit beschäftigen, als es zum Verständnis des gesamten Aufbaues erforderlich ist, besonders, um die Messungen im Weltenraum in ihrer Bedeutung richtig zu würdigen.

Unter den älteren Theorien zur Darstellung der Planetenbewegung steht die von Eudoxus von Knidus an der Spitze, der von einem Priester von Heliopolis in die Geheimnisse der ägyptischen Wissenschaften eingeweiht wurde, wobei er auch die Grundlagen für seine Planetentheorie nach dem alten Beobachtungsmaterial erhielt. Wie gesagt, beruht die Theorie der Alten für die Bewegung der ihnen bekannten sieben Planeten Mond, Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter und Saturn auf der naturphilosophischen Vorstellung von der Kugel als dem vollkommensten Weltkörper. Die ganze Welt wurde von einer Kugel umschlossen gedacht, in deren Mittelpunkt man die Erde versetzte. Den verwickelten, von hier aus beobachteten

Lauf der Wandelsterne suchte man durch zwei sogenannte „Ungleichheiten" darzustellen, von denen die erste Ungleichheit im heutigen Sinne die Bewegung in der Ellipse ersetzen mußte, während die zweite Ungleichheit zur Wiedergabe jener Verschiebungen diente, die durch die Erdbewegung hervorgerufen wurden. Der exzentrische Kreis, der für die erste Ungleichheit angenommen wurde, erwies sich als keine unglückliche Lösung, wenn auch die Entfernungen damit verhältnismäßig schlecht dargestellt wurden. Gerade dieser Umstand veranlaßte später Kepler, als er über Coppernicus hinaus die Fehler der alten Theorie der Marsbewegung zu beseitigen strebte, vom exzentrischen Kreis zur Ellipse überzugehen. Er fand dabei das erste seiner grundlegenden Gesetze: Die Planeten bewegen sich in Ellipsen,

Abb. 17. Das Ptolemäische Weltsystem.
Die offizielle Darstellung des Planetenlaufes, einschließlich der Sonne, im Altertum ohne nähere Berücksichtigung der verbundenen Sphären.

in deren einem Brennpunkt die Sonne steht. Die Geschwindigkeit der Bewegung in dieser Ellipse, wobei Kepler schon allgemein statt „Ellipse" hätte sagen können „Kegelschnitt", regelt sich nach dem zweiten seiner Gesetze: Der Fahrstrahl eines Planeten, seine Verbindungslinie mit der Sonne, überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen. Damit wird verständlich, warum die Wandelsterne in der Nähe des Tagesgestirnes, in ihrem Perihel, sich rascher bewegen als in der Sonnenferne, dem Aphel. Augenfällig tritt dies in die Erscheinung bei den langgestreckten Ellipsen der Kometen, die z. T. innerhalb der Erdbahn verlaufen, während ihre Aphelien noch weit außerhalb der Neptunbahn liegen.

Während die beiden eben genannten Gesetze in vollem Umfang durch Newton bestätigt werden konnten, war dies bei dem dritten und schönsten der Keplerschen

Gesetze nicht im vollen Umfang der Fall, weil er ja von der allgemeinen Massenanziehung noch keine richtige Vorstellung hatte und auch im besonderen die Massen der Wandelsterne im Vergleich zur Sonnenmasse vernachlässigte. Für die damalige Zeit war der durch diese Ungenauigkeit hervorgebrachte Fehler in den Entfernungen so unbedeutend, daß er zunächst nicht beachtet wurde. Das dritte Keplersche Gesetz lautet in unseren Worten: Die Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten verhalten sich wie die Kuben ihrer mittleren Entfernung von der Sonne. Dieses Gesetz gestattet in einfacher Weise aus der verhältnismäßig leicht zu bestimmenden Umlaufszeit die mittlere Entfernung von der Sonne zu berechnen. Diese mittlere Entfernung ist gleich dem halben Abstand von der Sonnennähe bis zur Sonnenferne des betreffenden Himmelskörpers. Als Einheit gilt bei allen diesen Überlegungen der mittlere Erdabstand von der Sonne und für die Zeitmessung das Jahr.

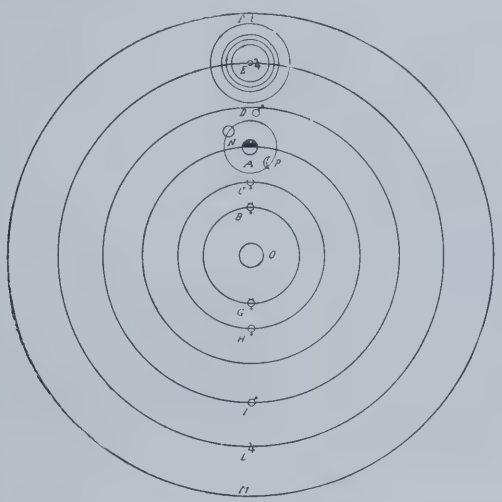


Abb. 18. Das Coppernicanische Weltsystem.
Nach Galileis Darstellung in seinem berühmten Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme. Die Abstände sind nur schematisch angedeutet.
Die Symbole bedeuten ☿ Merkur, ♀ Venus, ♂ Mars, ♃ Jupiter und ♄ Saturn.

Um nun von dieser astronomischen Einheit der Entfernung im Sonnensystem auf beliebige andere Maße überzugehen, ist es notwendig, den Abstand der Erde von der Sonne auch z. B. in Kilometern auszudrücken. Dies wird dadurch erreicht, daß wir den Winkel bestimmen, unter dem der Erdhalbmesser von der Sonne aus erscheint. Diese ungemein wichtige Größe wird als Sonnenparallaxe bezeichnet. Zu ihrer Bestimmung gibt es drei Hauptwege, von denen der erste die Beobachtungsergebnisse von Wandelsternen ausnutzt, die der Erde besonders nahe kommen. Einerseits handelt es sich dabei um Venus oder Merkur, wenn sie von uns aus gesehen als kleine schwarze Scheiben über die Sonne ziehen, andererseits um Mars oder noch weit besser um Kleine Planeten zur Zeit ihrer Gegenüberstellung zur Sonne. Die großen Schwierigkeiten der Beobachtung der Venusdurchgänge und die verhältnismäßig unvorteilhaften geometrischen Bedingungen bei den Merkurpassagen haben das Interesse an dieser Gruppe von Erscheinungen zugunsten der Beob-

achtung der Kleinen Planeten, in allererster Linie des Eros, zurückgedrängt. Die Bestimmung der Sonnenparallaxe erfolgt nach dem einfachen Grundgedanken, daß die Stellung dieses Kleinen Planeten am Himmel gegenüber der vom Erdmittelpunkt aus gedachten Richtung je nach der Lage des Beobachtungsplatzes auf der Erdoberfläche verschoben erscheint.

Ein ganz anderer Weg zur Bestimmung des Erdabstandes von der Sonne in irdischen Maßeinheiten führt über die Anwendung des Lichtes. Einerseits läßt sich der Zeitraum bestimmen, den es zum Durchlaufen des Erdbahndurchmessers gebraucht. Da wir durch Messungen im Laboratorium die Geschwindigkeit des Lichtes kennen (300000 km in der Sekunde), so können wir aus den 1000 Sekunden, die es braucht, um den Erdbahndurchmesser zurückzulegen, einfach berechnen, daß dieser 300 Millionen Kilometer lang sein muß. Die Lichtgeschwindigkeit läßt sich andererseits in Verbindung mit der Erdgeschwindigkeit benutzen, um aus den kleinen Verschiebungen der Sterne, der sogenannten Aberrationsellipse, den Betrag der Erdgeschwindigkeit auszurechnen. Aus der Aberrationsellipse von 20″ folgt eine Erdgeschwindigkeit von 30 km in der Sekunde und damit durch sinngemäße Umrechnung der obige Betrag von 150 Millionen Kilometer für die Erdbahnhalbachse.

Daß man schließlich auch Gravitationsbeziehungen aus der Bewegung der Erde und des Mondes um die Sonne benutzen kann, um daraus die Sonnenparallaxe zu erschließen, mag hier nur in dem Zusammenhange erwähnt werden, auch diese Messungen bestätigen den oben erwähnten Wert. Der gegenwärtig angenommene Betrag der Sonnenparallaxe von 8.80″ ist etwa auf 0.01″ genau. Bei voller Angabe aller Ziffern, auch wenn von diesen nur die ersten vier als verbürgt angesehen werden dürfen, entspricht ihm ein mittlerer Abstand der Erde von der Sonne von 149480976 km.

X. Die Sonne.

Nachdem wir in früheren Abschnitten die Stellung der Sonne im Raum und ihre Bedeutung im Hinblick auf andere Sonnen kennen gelernt haben, im Vergleich zu denen sie eine in keiner Weise ausgezeichnete Stellung einnimmt, wollen wir nunmehr ihren Aufbau näher zu ergründen versuchen. Dabei werden sich auch für andere Fixsterne wertvolle Aufschlüsse ergeben, da sie ja der einzige Stern ist, den wir aus großer Nähe beobachten können. Allerdings bleibt auch hier, besonders im Hinblick auf die äußersten Schichten der Sonne, eine Reihe von Rätseln ungelöst.

Der Erdabstand von der Sonne beträgt nach den besten Bestimmungen der Sonnenparallaxe 149.5 Millionen Kilometer. Ihr Durchmesser erscheint unter einem Winkel von 32′ und unterliegt infolge der geringen Abweichung der Erdbahn von einem Kreise mit der Sonne als Mittelpunkt einer Schwankung von im ganzen nur 1′. Dieser Betrag ist so unbedeutend, daß er mit unbewaffnetem Auge überhaupt nicht wahrgenommen werden kann. Aus dem Winkeldurchmesser der Sonne ergibt sich seine lineare Ausdehnung zu 1.39 Millionen Kilometer, so daß die Sonne also über hundertmal so groß ist als die Erde. Denken wir unseren Planeten in die Mitte des Tagesgestirnes versetzt, so würde auch die Mondbahn noch vollkommen innerhalb der Sonnenkugel verlaufen, ja in ihrem Durchmesser selbst den Sonnenhalbmesser nicht weit übertreffen.

Die vollständige Sonnenfinsternis am 30. August 1905.
Oberhalb der großen Protuberanzengruppe am Ostrande der Sonne dehnen sich gewaltige Koronagebilde aus.
Nach den photographischen Aufnahmen der Expedition der Hamburger Sternwarte gezeichnet von Prof. Dr. K. Graff.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLI O

Das größte Interesse richtet sich bei der Sonne auf ihre Wärmestrahlung, weil davon ja das Leben auf unserer Erde abhängt. Bei derartigen Messungen mit dem Bolometer muß eingehend berücksichtigt werden, inwieweit diese Strahlung durch die Lufthülle unserer Erde verschluckt wird; man kann auch die Absorption in den höheren Schichten der Sonnengashülle zu berücksichtigen versuchen. Dies bietet jedoch große Schwierigkeiten.

Als Maß der Sonnenwärme betrachtet man die sogenannte Solarkonstante. Sie gibt die Zahl der Grammkalorien an, die bei senkrecht auffallendem Sonnenlicht ein Quadratzentimeter der Erdoberfläche in einer Minute empfangen würde, wenn man die Absorption in der Erdatmosphäre berücksichtigt. Der genaueste Wert ist heute 1.94. Er zeigte Schwankungen bis zu 15% und mehr, die man jedoch wohl nicht den Schwankungen der Sonnenwärme zuschreiben darf, sondern bei deren Erklärung man die großen Hochtrübungen der Atmosphäre zu berücksichtigen hat, die durch ungeheure Vulkanausbrüche hervorgerufen wurden. Für diese Erklärung der großen Schwankungen der Sonnenstrahlung spricht auch der Umstand, daß die indirekten Bestimmungen der Sonnenhelligkeit durch Vergleichung der Planetenhelligkeiten mit denen von Sternen keinerlei entsprechende Schwankungen der Intensität der Sonnenstrahlung erkennen ließen.

Die Solarkonstante setzt uns nun instand, auch die Temperatur der Sonnenoberfläche insofern zu bestimmen, als wir diese mit einem schwarz strahlenden Körper vergleichen dürfen, der den gleichen Durchmesser hat. Berücksichtigen wir zunächst das Stefansche Strahlungsgesetz, wonach die von einem schwarzen Körper ausgestrahlte Wärmemenge der vierten Potenz seiner absoluten Temperatur proportional ist, so werden wir auf eine Temperatur von 5500° C geführt. Entsprechend führt das sogenannte Wiensche Verschiebungsgesetz, bei dem für den schwarzen Körper das Produkt aus seiner absoluten Temperatur und der Wellenlänge, bei der die Strahlung am stärksten ist, unter der Annahme, daß dieses Maximum bei 0,5 μ liegt, auf eine Temperatur von 5600°. Schließlich läßt sich nach der allgemeinen Planckschen Energiegleichung ebenfalls die effektive Sonnentemperatur bestimmen, und man wird dadurch auf etwa 5900° geführt. Diese effektive Temperatur ist natürlich eine Rechengröße, die bei dem verwickelten Aufbau der Sonnenschichten in einer derselben auch verwirklicht ist. Die Temperaturverteilung im einzelnen können wir noch nicht angeben. Es ist jedoch im hohen Maße wahrscheinlich, daß der ganze Sonnenkörper ein glühender Gasball ist, in dessen zentralen Teilen hohe Temperaturen (ob über 25000° ist fraglich) herrschen, wo auch infolge des hohen Druckes Gase bis zur Konsistenz dickflüssiger Körper komprimiert sind.

Von großer Wichtigkeit ist die Erhaltung dieser Strahlung, und man hat sich daher auch ernsthaft darum bemüht, Quellen nachzuweisen, aus denen dem Sonnenofen immer neue Energie zugeführt werden kann. Daß dies dauernd erfolgt, ergibt sich schon daraus, daß andernfalls eine jährliche Temperaturabnahme der Sonne um schätzungsweise $1^1/_2{}^0$ eintreten müßte. Daß diese nicht erfolgt ist, beweist uns die auf über Millionen Jahre mit einiger Sicherheit zurückverfolgte Erdgeschichte über die einzelnen Eiszeiten und dazwischen liegenden Wärmeperioden hinweg. Man hat zunächst daran gedacht, daß die meteorischen Massen, die mit einer Geschwindigkeit von 600 km in der Sekunde in die Sonnenoberfläche einschießen, hinreichten,

um durch ihre Energiezufuhr den Verlust auch an Masse zu decken. Hier wäre jedoch eine so ungeheure Massenzufuhr notwendig, daß die Jahresdauer infolge der Zunahme der Sonnenmasse um etwa eine Sekunde im Jahre selbst zunehmen würde. Dieser Betrag ist viel zu groß, als daß er etwa bei der Erforschung der Finsternisse uns hätte entgehen können. Wesentlich günstiger steht es mit der Helmholtzschen Theorie der Erhaltung der Sonnenenergie durch ihre Zusammenziehung. Durch eine Zusammenziehung von nur einem Zehntausendstel des Sonnendurchmessers würde bereits der Wärmeverlust auf 1400 Jahre gedeckt sein. Diese Zusammenziehung ist so unbedeutend, daß sie unseren Beobachtungen jedenfalls entgehen müßte. Vermutlich wird auf diese Weise eine zutreffende Erklärung des Vorganges gegeben.

Abb. 19.
Beobachtung der Sonne im Projektionsbilde.
Hevel, der hervorragende Danziger Liebhaber-Astronom, Mitte des 17. Jahrhunderts, arbeitet mit selbstgebauten Geräten.

Wenn wir nochmals auf die Beziehungen der Sonne zu anderen Fixsternen Bezug nehmen, so würde sie als G-Stern der Capella im Fuhrmann entsprechen, jedoch wesentlich kleiner (etwa $^1/_8$ im Durchmesser so groß) sein und von dort aus nur etwa als ein Stern 5. Größe erscheinen. Es ist hiernach anzunehmen, daß die Sonne mit Rücksicht auf ihre Masse bereits den Höhepunkt ihres Daseins überschritten hat und trotz der Energiezufuhr infolge der Zusammenziehung doch langsam kühler werden wird. Dies wird sich jedoch in der Erdgeschichte erst in einer langen Reihe von Jahrmillionen geltend machen können.

Der Aufbau der Sonne im ganzen wurde hinsichtlich der innersten Schichten schon vorhin gekennzeichnet. Einer näheren Erforschung ist jedoch erst die eigentlich leuchtende Gasschicht zugänglich, die man als Photosphäre bezeichnet. Sie liefert den gleichmäßig zusammenhängenden Untergrund des Sonnenspektrums. In dieser Schicht findet eine lebhafte Zirkulation und Wirbelbildung statt, hier ist der Schauplatz der Bildung der sogenannten Sonnenflecken, die sich bis weit hinauf in die höchsten Sonnenschichten auswirken. Wir haben es hier nicht nur mit leb-

haftem Wärmeaustausch, sondern auch mit der Bildung großer elektromagnetischer Kraftfelder zu tun, die durch das spektrale Verhalten der Linien der Sonnenflecken genauer studiert werden konnten. Auf der Photosphäre ruht der unterste Teil der nächsten Schicht, die man als Chromosphäre bezeichnet. Im besonderen bildet die unterste Schicht der Chromosphäre ein eigenartiges Stratum, in dem wesentlich die sogenannten dunklen Linien im Sonnenspektrum hervorgerufen werden, und die man als „umkehrende Schicht" bezeichnet. Über ihr liegt die Chromosphäre im eigentlichen Sinne, die hauptsächlich aus Wasserstoff, Helium und bestimmten Kalziumdämpfen besteht. Aus dieser chromosphärischen Schicht werden durch heftige Strömungen die Flammenzungen der Protuberanzen (Abb. 23) hervorgeschleudert und besonders in der Nähe der großen Wirbel der Sonnenflecke auch metallische Dämpfe von Natrium, Titan und Eisen. Die dabei auftretenden Geschwindigkeiten erreichen ungeheuere Beträge. Bei ihrer Erklärung dürfen wir jedoch nicht außeracht lassen, daß die Protuberanzen am Sonnenrande erscheinen, nachdem das Licht eine Reihe anderer, ebenfalls im lebhaften Temperaturausgleich befindlicher Schichten durchlaufen hat. Schon von Beobachtungen auf der Erde über großen Feuerstellen ist uns die Wahrnehmung geläufig, daß in solchen Fällen heftige Verzerrungen der Abbildung des hinter dem Störungsgebiet liegenden Gegenstandes erfolgen. Mit der Verwertung der großen Protuberanzengeschwindigkeiten müssen wir daher vorsichtig sein.

Im besonderen hat Emden den Wärmeaustausch der einzelnen Schichten näher untersucht und dabei die Entstehung der Sonnenflecken durch das Aneinandervorübergleiten von Gasmassen in verschiedenem Zustand wahrscheinlich machen können. An der Trennungsfläche bilden sich Wellenzüge und schließlich an der Stelle einiger Wellen auch Wirbel. Rollt sich eine solche Diskontinuitätsfläche nahe der Photosphäre auf, so bilden sich dort die schon erwähnten Wirbel. Emden konnte sogar auf diese Weise die merkwürdige Tatsache dem Verständnis näherbringen, daß die Bildung der Sonnenflecken reihenweise in höheren Breiten beginnt und sich dann allmählich bis in die Nähe des Sonnenäquators fortsetzt, wobei jedoch die engere Umgebung desselben ausdrücklich gemieden wird.

Über der Chromosphäre liegt als höchste Sonnenschicht die vielfach rätselhafte Korona, bei der man eine innere gleichmäßige Schicht, die bei vollständigen Sonnenfinsternissen das Tagesgestirn außerhalb des dünnen roten Ringes (Chromosphäre) als schmaler silbriger Reifen umgibt, von einer äußeren Korona unterscheidet, deren Ausläufer sich gelegentlich bis zum Mehrfachen des Sonnendurchmessers seitlich verfolgen lassen. Was die Korona ist, wissen wir noch nicht sicher. Es läßt sich nur feststellen, daß sie aus ungewöhnlich dünnem und leichtem Material aufgebaut sein muß, nach H. Ludendorff aus Atomresten, da Kometen ohne Geschwindigkeitsverlust selbst Tausende von Kilometern in derselben zurücklegten. Der große Komet von 1843 durchraste beispielsweise mit einer Geschwindigkeit von 570 km in der Sekunde eine Strecke von wenigstens einer halben Million Kilometer der Korona. Für den Aufbau derselben ist zweifellos der den Einfluß der Schwerkraft teilweise aufhebende Lichtdruck von großer Bedeutung.

Wenn wir jetzt im einzelnen die wichtigsten Beobachtungsergebnisse über die Sonne zusammenfassen, so müssen wir vor allem die Sonnenflecken berücksichtigen, die schon lange vor ihrer offiziellen Entdeckung, im Sommer 1610, in China be-

merkt wurden. Sie bestehen im wesentlichen aus einem dunklen Hauptfleck und einem Hof oder der Penumbra. In der Letztgenannten kann man nicht selten die Struktur der einzelnen Wirbellinien deutlich auch schon im kleinen Fernrohr erkennen. In der Nähe der Sonnenflecken tauchen häufig, über die Photosphäre

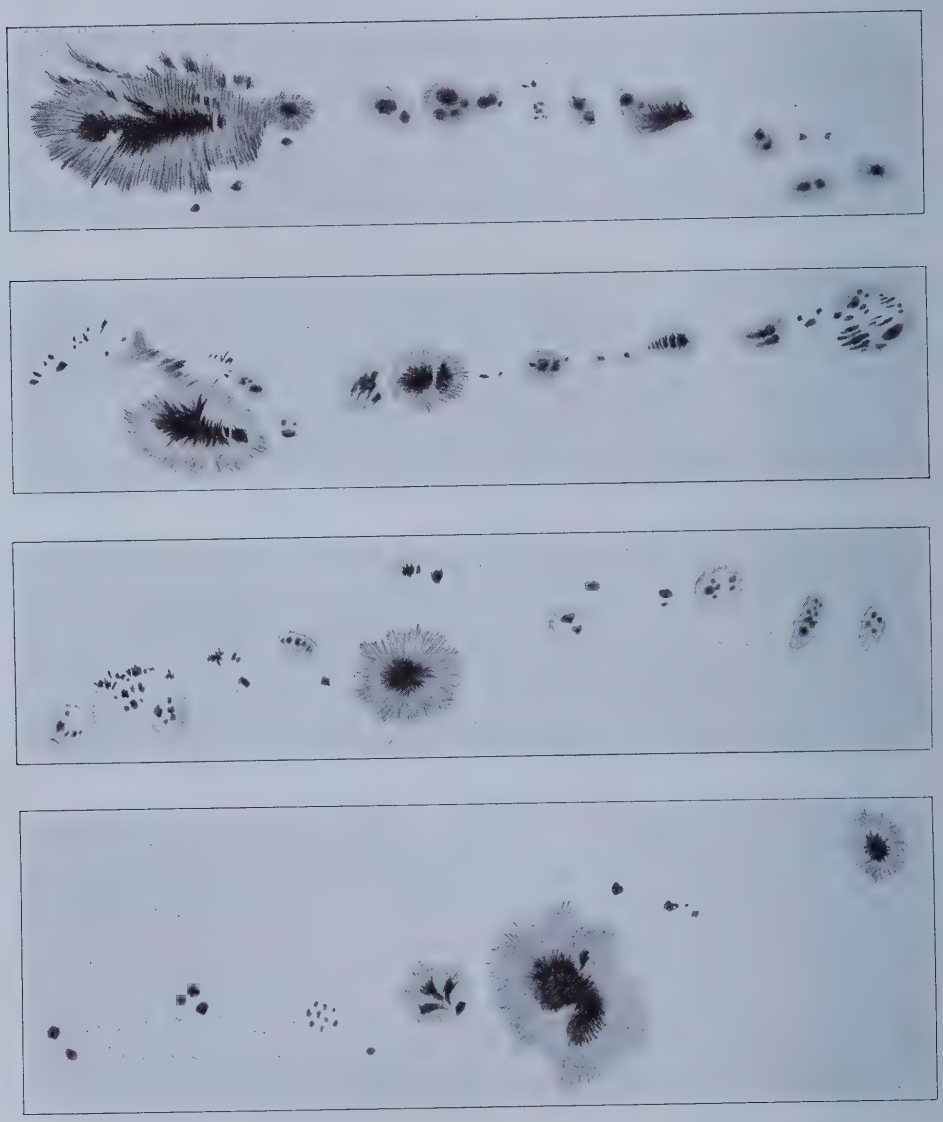


Abb. 20. Die große nördliche Sonnenfleckengruppe im April und Mai 1915. Die Zeichnungen von H. Wolf lassen die allmähliche Auflösung des großen Gebildes deutlich erkennen.

erhaben, Fackeln auf, die im Fernrohr hauptsächlich am Sonnenrande gut zu beobachten sind. Sonst ist die ganze Sonnenoberfläche mit einem feinen körnigen Netz überzogen, das das Projektionsbild der Sonne etwa wie auf Reiskörnern entworfen erscheinen läßt. Man bezeichnet diese aus mehreren hundert Kilometer großen „Wölkchen" bestehende Schicht als Granulation (Tafel VI).

Die Sonnenflecken haben durch den Nachweis des häufig gleichzeitigen Auftretens von erdmagnetischen Störungen und oft damit verbunden erscheinenden Polarlichtern das allgemeine Interesse im hohen Maße erregt, besonders nachdem sich zeigen ließ, daß die elfjährige Sonnenfleckenperiode, von der sogleich die Rede sein wird, sich auch in den Temperaturen gewisser Erdgebiete widerspiegelt.

Die Entdeckung der Sonnenflecken führte sogleich zu der wichtigen Feststellung der Umdrehung der Sonne in etwa 25 Tagen und der Lage der Umdrehungsachse der Sonne im Raum. Da wir ja die Sonnenflecken von der wandernden Erde aus betrachten, erscheint die siderische Umdrehungsdauer von 25 Tagen als synodische auf etwa 27 Tage vergrößert. Die Neigung des Sonnenäquators gegen die Ekliptik fand sich zu 7° und die Lage des aufsteigenden Knoten bei 75° Länge. Daraus ergibt sich, daß um den 6. Juni und den 8. Dezember die scheinbaren Bahnen der Sonnenflecke geradlinig sind, während sie sonst eine leichte Krümmung aufweisen. Die Größe der Sonnenflecken erreicht besonders bei ihrem gruppenweisen Auftreten mehrere Bogenminuten. Selbst einzelne Sonnenflecken haben die Ausdehnung von mehreren Erddurchmessern erreicht (Abb. 20—22).

Wie erwähnt, zeigen die Sonnenflecken periodische Schwankungen ihrer Häufigkeit, die zuerst von Schwabe 1843 festgestellt wurden. Den eingehenden Untersuchungen, die auf der Sternwarte Zürich von Rudolf Wolf begonnen und von Wolfer fortgesetzt wurden, verdanken wir eine eingehende Statistik der Fleckenbildung über die letzten drei Jahrhunderte, wobei allerdings die Lückenhaftigkeit der älteren Beobachtungen das Material in der ersten Zeit nur unvollkommen erscheinen läßt. Die statistisch verwendeten „Relativzahlen" werden in einfacher Weise aus der Anzahl der Gruppen und Flecken berechnet und dann durch übergreifende Mittelbildung ausgeglichen. Dadurch werden die kurzen Perioden der Sonnenflecken von nur einigen Monaten Dauer fast vollkommen verwischt und die Auffassung erweckt, als ob sie nicht vorhanden wären oder nur zufällig aufträten. Bei genauerer Betrachtung der Sonnenfleckenkurve zeigt

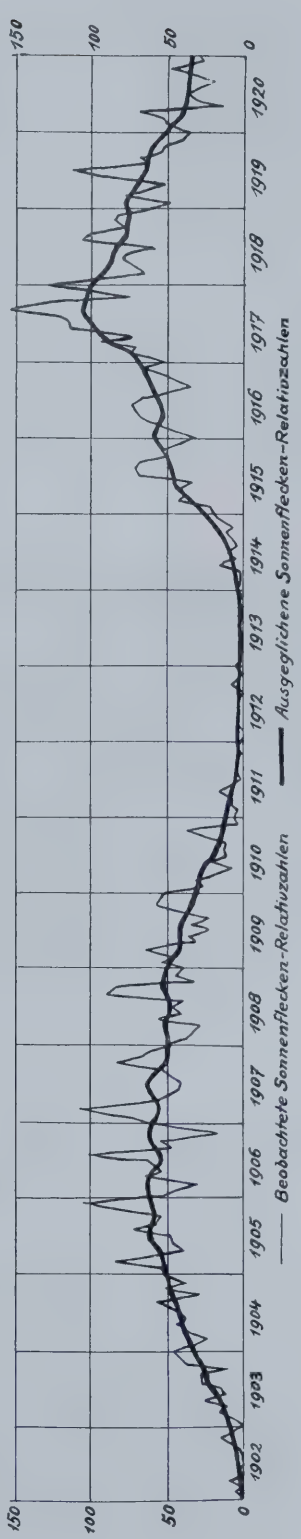


Abb. 21. Statistik der Sonnenflecken nach den sog. Relativzahlen.
Die Relativzahlen werden auf der Züricher Sternwarte durch Zusammenfassung der Tausende von Einzelbeobachtungen gebildet.

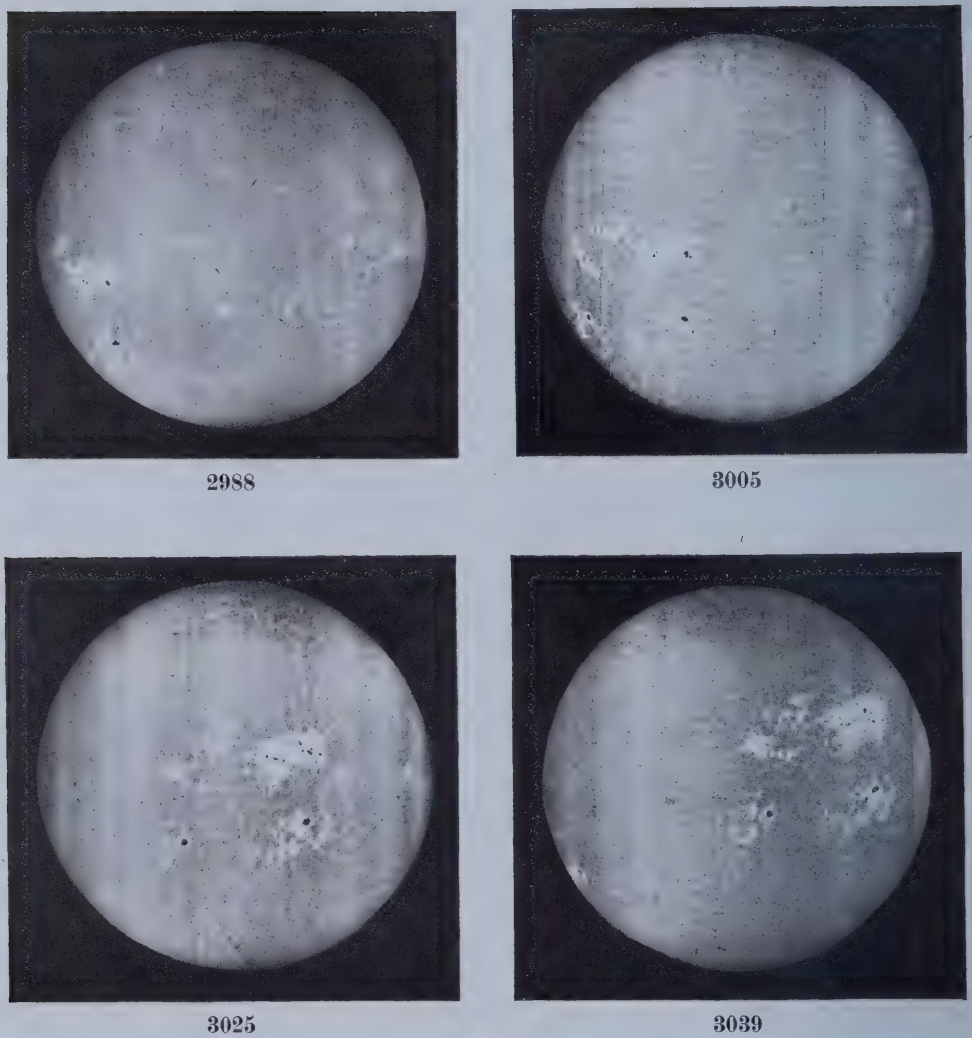


Abb. 22. Spektroheliogramme, die die Umdrehung der Sonne zeigen.
Aufnahmen der Sonne in schmalen Streifen des Kalziumlichtes, die eng zusammengelegt, die volle Scheibe ergeben. Ausgeführt 1908 von Prof. Fox und Abetti auf der Yerkes-Sternwarte bei Chicago. Die Originale haben 178 mm Durchmesser. — Eine große Fleckengruppe taucht am 27. Aug. (2988) am linken Rande auf. Die folgenden Aufnahmen sind gemacht: 3005 am 29. Aug., 3025 am 1. Sept. und 3039 am 3. Sept. 1908.

sich jedoch, daß durch sie erhebliche Zacken in den sonst scheinbar gleichmäßigen Verlauf der Sonnenfleckenkurve hineingebracht werden. Wie Verfasser auf dem Astronomenkongreß in Leipzig 1924 ausführte, lassen sich abgesehen von unbekannten Vorgängen im Sonneninneren, die gewiß für das eigentliche Entstehen der Sonnenflecken wesentlich sind, eine Reihe von Parallelen zu der Dauer der kurzen Perioden bei den Umlaufsbewegungen der Großen Planeten nachweisen. Schon Rudolf Wolf hatte eine Sonnenfleckenperiode von $7^1/_2$ Monat aufgefunden, die dem synodischen Umlauf von Jupiter und Venus genau gleich ist.

Im einzelnen hat die Spektroskopie uns wichtige Aufschlüsse über den Aufbau der Sonne geliefert, besonders insofern als sie die Möglichkeit gab, die früher nur bei vollständigen Sonnenfinsternissen wahrgenommenen hohen Protuberanzen auch sonst als selbstleuchtende Wasserstoffflammen zu verfolgen. Heute sind weit über 20000 Linien im Sonnenspektrum festgelegt und der größte Teil der irdischen Elemente auch auf der Sonne nachgewiesen. Bei den wenigen, die dort fehlen, darunter merkwürdigerweise auch Gold, ist dies z. T. aus physikalischen Gründen nicht wunderbar. Bei den Sonnenflecken ist im besonderen hervorzuheben, daß dort Vanadiumlinien verstärkt erscheinen und Titanoxyd besonders hervortritt. Die Korona hat im besonderen durch eine vorläufig unerklärte grüne Linie dem Physiker eine interessante Aufgabe gestellt. Durch die Auswahl einzelner Linien, besonders des Kalziums und des Wasserstoffs, sind wir imstande, einzelne Schichten der Sonne getrennt zu untersuchen. Im Lichte der Kalziumlinie K können die Sonnenfackeln auch in der Mitte der Sonnenscheibe deutlich erkannt werden. Wertet man ihre drei wesentlichen Komponenten einzeln aus, so kann man die umkehrende Schicht, die Ausbildung der Fackeln und schließlich ein großmaschiges Netz feiner Fasern studieren, das auch bei den Wasserstofflinien deutlich hervortritt. Das Netz dieser Filamente, wie man sie nennt, steht im engsten Zusammenhang mit den Protuberanzen.

Damit haben wir in großen Zügen den Aufbau der Sonne und die Möglichkeiten ihrer Erforschung umrissen, möchten jedoch zum Schluß ausdrücklich betonen, daß wir von einer allgemein anerkannten Sonnentheorie noch nicht sprechen dürfen, und daß auch die Erklärung des Fleckenphänomens im einzelnen noch Gegenstand der wissenschaftlichen Diskussion ist.

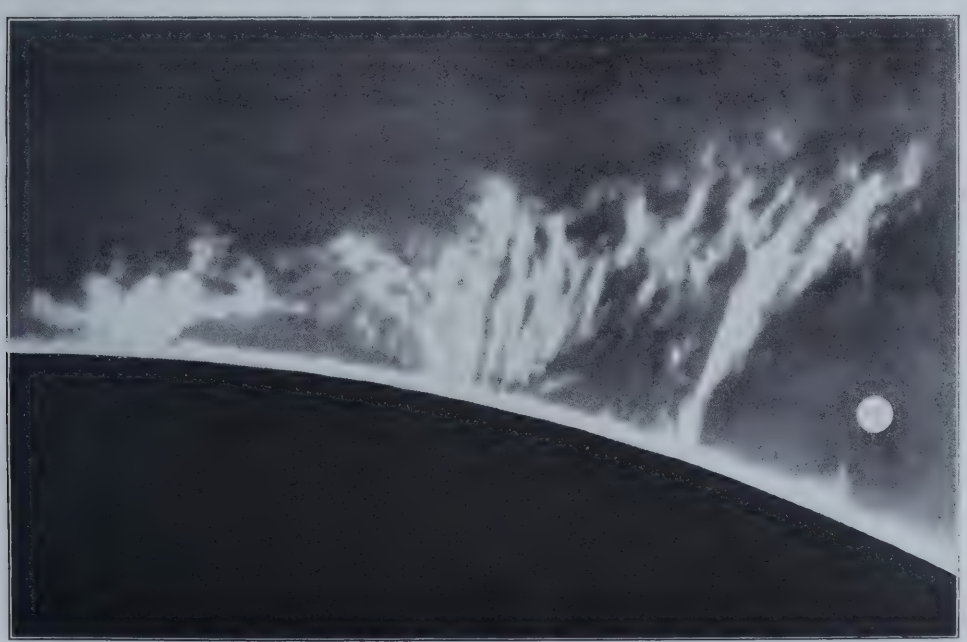


Abb. 23. Riesige Sonnenprotuberanzen.
Wasserstofflammen wie diese werden am besten bei vollständigen Sonnenfinsternissen photographiert. Rechts zum Vergleich die Erde.

XI. Die sonnenähnlichen Planeten.

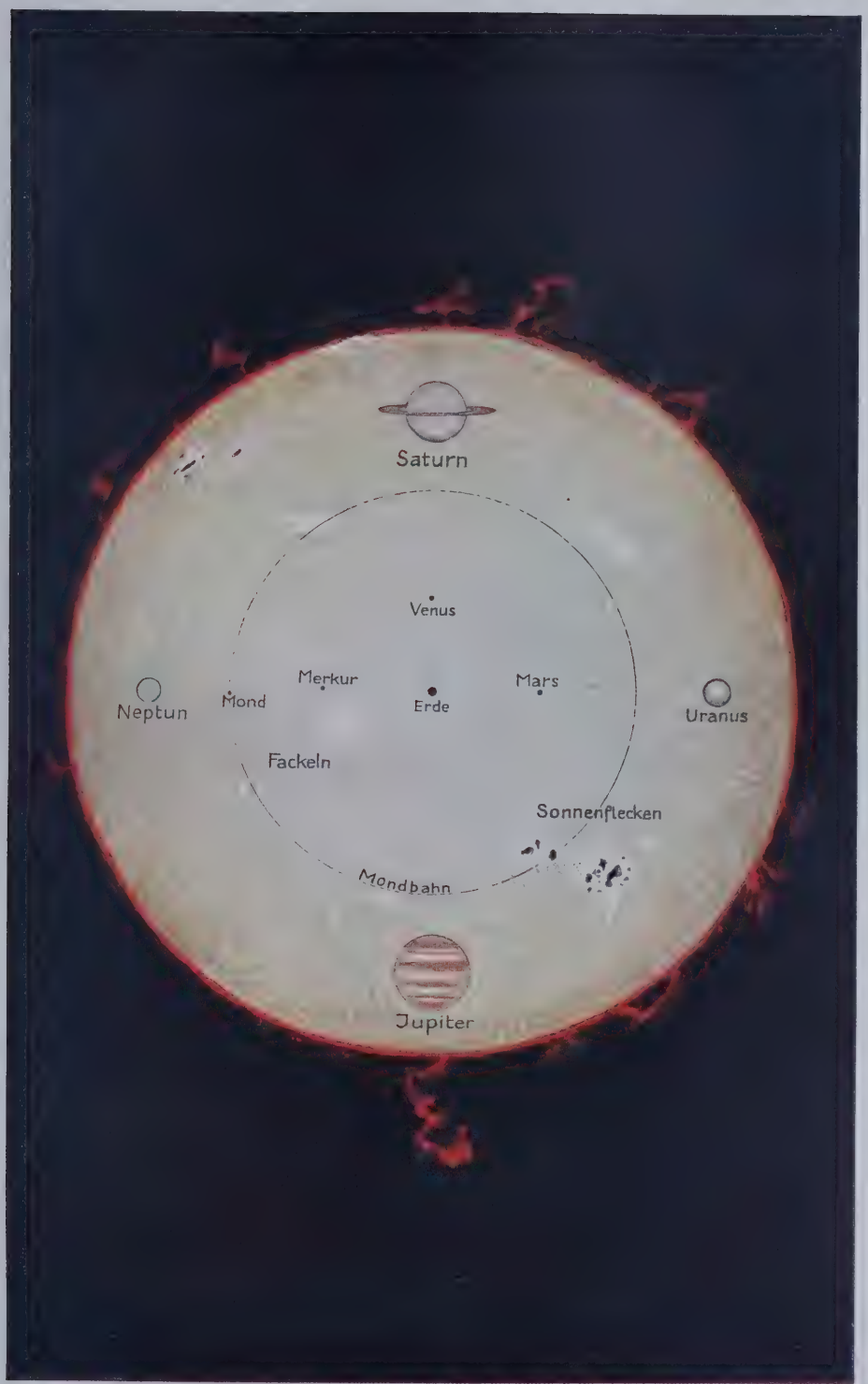
Unsere Unterscheidung der Wandelsterne in sonnenähnliche und erdähnliche, die wir in folgendem durchführen wollen, ist durch die Tatsache begründet, daß sich unverkennbar zwei Gruppen bilden, wenn man die mittlere Dichte der Planeten als Einteilungsgrundlage wählt. Es ergibt sich, daß das spezifische Gewicht von Merkur, Venus, Erde und Mars zwischen 4 und 6 liegt, während bei Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun das spezifische Gewicht zwischen 0.7 und 1.4 schwankt. Wir wenden uns zunächst den letztgenannten Planeten zu, deren Dichte der der Sonne (spez. Gewicht 1.42) nahekommt. Wir haben es hier im wesentlichen mit Himmelskörpern zu tun, deren Oberfläche noch nicht fest geworden ist, wenn wir das auch bei Uranus und erst recht bei Neptun nicht direkt feststellen konnten, und die wir als von einer hohen gasförmigen, von wolkenartigen Gebilden durchsetzten Atmosphäre umgeben ansehen müssen. Ihren Kern werden wir im besten Falle als flüssig annehmen dürfen. Soweit sich die Oberfläche verfolgen läßt, zeigt sie schichtweise Veränderungen mit bemerkenswerter Ähnlichkeit zu den Streifen der Sonne, die wir als durch die Flecke besonders bevorzugt kennengelernt haben. Für die Ähnlichkeit des Aufbaues von Jupiter und Sonne spricht im wesentlichen der Umstand, daß auch die einzelnen Schichten, wenn wir vom Äquator polwärts gehen, eine allmählich zunehmende Umdrehungsdauer feststellen lassen. Wir sind hier ebensowenig imstande, dieses Beobachtungsergebnis vollkommen aufzuklären wie bei der Sonne, ja hier sind die Schwierigkeiten womöglich noch größer.

Eine hervorstechende Ähnlichkeit zwischen dieser Gruppe der Wandelsterne und der Sonne im Vergleich zu den erdähnlichen Wandelsternen ist das reiche Gefolge, mit dem sich besonders Jupiter und Saturn umgeben haben. Gerade damit hat das Jupitersystem um 1610 eine wertvolle Analogie für die Richtigkeit des coppernicanischen Weltsystems abgegeben.

Erhebliche Abweichungen zwischen den sonnenähnlichen Planeten und der Sonne selbst bestehen natürlich hinsichtlich der weit über tausendmal kleineren Masse und weiter hinsichtlich der viel größeren Umdrehungsgeschwindigkeit der Äquatorpunkte der Planeten im Vergleich zu denen der Sonne.

a) Jupiter.

Im fünffachen Abstande der Erde umkreist in 12 Jahren der größte Planet unseres Sonnenreiches das Tagesgestirn. Seine Umlaufsdauer ist nur 50 Tage kürzer als zwölf volle Jahre, welcher Unterschied daher nach 7 Jupiterumläufen ein volles Jahr ergibt, so daß sich seine Stellungen am Himmel in einem 83jährigen Zeitraum nahe in derselben Weise wiederholen. Sein scheinbarer Durchmesser schwankt für uns von 30 und 50″, so daß er auch mit kleinen Instrumenten gut beobachtet werden kann. Wir besitzen daher über ihn mehr Material an Zeichnungen, als etwa von Mars oder Venus; als Verf. 1910 die Geschichte bestimmter Oberflächengebilde des Jupiter erforschte, waren über 1000 wissenschaftlich brauchbare Zeichnungen vorhanden, davon allerdings nur etwa ein Viertel veröffentlicht. Die fort-



Die Sonne und die Planeten im gegenseitigen Größenverhältnis.
(Nach einem Aquarell von Hans Steiner.)

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

währenden Veränderungen seiner Oberfläche machen es allerdings unmöglich, eine Karte wie etwa von der Erde oder vom Mars herzustellen, ja wenn unter günstigen Bedingungen eine vollständige Umdrehung beobachtet werden kann, so paßt schon der Anfang der Reihe von Zeichnungen nicht mehr genau mit dem Ende zusammen. Dem freien Auge erscheint Jupiter in der Helligkeit — 2.2 Größe und in schwach gelblicher Farbe. Als Ende der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts ein stark gefärbter Fleck auftrat, beeinflußte dessen rote Farbe sogar den Gesamteindruck des Planeten.

Der Anblick des Planeten im Fernrohr macht uns zunächst mit der deutlichen Abplattung bekannt, die etwa $^1/_{15}$ des Äquatordurchmessers von 140000 km Länge beträgt. In den meisten Fällen sind eine ganze Anzahl, nahe dem Äquator breitere und weiter hinauf schmälere Streifen zu erkennen, in denen man mit stärkerer Vergrößerung viele interessante Einzelheiten in brauner, grauer und rötlicher Färbung wahrnehmen kann. Die eigentliche Äquatorzone ist von dunklen Streifen, die wir als Spalten in der dicken Wolkenschicht des Jupiter ansehen dürfen, so gut wie frei. Die Streifengebilde selbst zeigen gelegentlich ein unverändertes Aussehen, bei dessen Verfolgung man das Übereinanderwandern der einzelnen Schichten deutlich wahrnimmt. Wie bei der Sonne finden sich Flecken bis zu hohen Breiten von etwa 60° hinauf. Von besonderem Interesse war die Bildung eines großen ovalen Fleckes in dem südlichen Äquatorialband, der, wie gesagt, um die Wende der siebziger-achtziger Jahre besonders lebhaft gefärbt war, jedoch nicht erst in dieser Zeit entstand, sondern von Verf. bis zum Jahre 1831 zurückverfolgt werden konnte. Seine Umdrehungsdauer, bzw. der Schicht auf Jupiter, der er angehört, ergab sich zu 9 Stunden 56 Minuten. Andere Schichten lieferten den erheblich davon abweichenden Betrag von nur 9 Stunden 50 Minuten. Zwischen dem großen südlichen Äquatorband und dem nächsten Streifen umwandert seit vielen Jahren, Verf. hat seine Geschichte bis 1840 zurückverfolgen können, ein schleierartiges Gebilde den Jupiter, das bei seinen Zusammenkünften mit dem großen Roten Fleck (so genannt, auch wenn er jetzt diese Färbung verloren hat) merkliche Störungen seiner Umdrehungsdauer hervorruft. Zu diesen eigenartigen Vorgängen haben wir im ganzen Sonnensystem kein Gegenstück.

Wie gesagt ist die Sichtbarkeit der Jupiterstreifen bedeutenden Schwankungen unterworfen, die zu gewissen Zeiten lebhaft gebildet werden, während zu anderen Jupiter fast gleichmäßig gelblich erscheinen kann. Eine Periode dieser Vorgänge aufzufinden, hat bisher große Schwierigkeiten gemacht, da eine Librationsperiode seiner Begleiter der mittleren Dauer der Sonnenfleckenperiode von $11^1/_5$ Jahren genau entspricht. Es liegen jedoch Anzeichen dafür vor, daß Jupiter auf die großen Perioden der Sonnenflecken reagiert.

Das Trabantenreich Jupiters ist so groß, es zählt zurzeit wohl 15 Glieder, daß wir uns nicht im einzelnen mit ihm beschäftigen können. Hervorzuheben sind jedoch die vier hellsten Begleiter, von denen drei bereits am 7. Januar 1610 von Galilei bemerkt wurden. Da ihre Helligkeit zwischen der 5. und 6. Größe liegt, wären sie mit unbewaffnetem Auge erkennbar, wenn der Jupiter sie nicht überstrahlte. Ihre Oberflächenbeschaffenheit dürfte nicht ganz gleichartig sein, da sich besonders bei dem ersten und zweiten dem Umlauf um Jupiter entsprechende Helligkeits-

schwankungen zeigen. Der dritte Trabant dürfte den Erdmond an Größe übertreffen. Der vierte, der etwas kleiner ist und verhältnismäßig dunkel erscheint, läßt aus photometrischen Gründen die Ähnlichkeit seiner Oberflächenbeschaffenheit mit der des Merkur oder unseres Mondes erwarten. Die Umlaufsbewegungen der drei

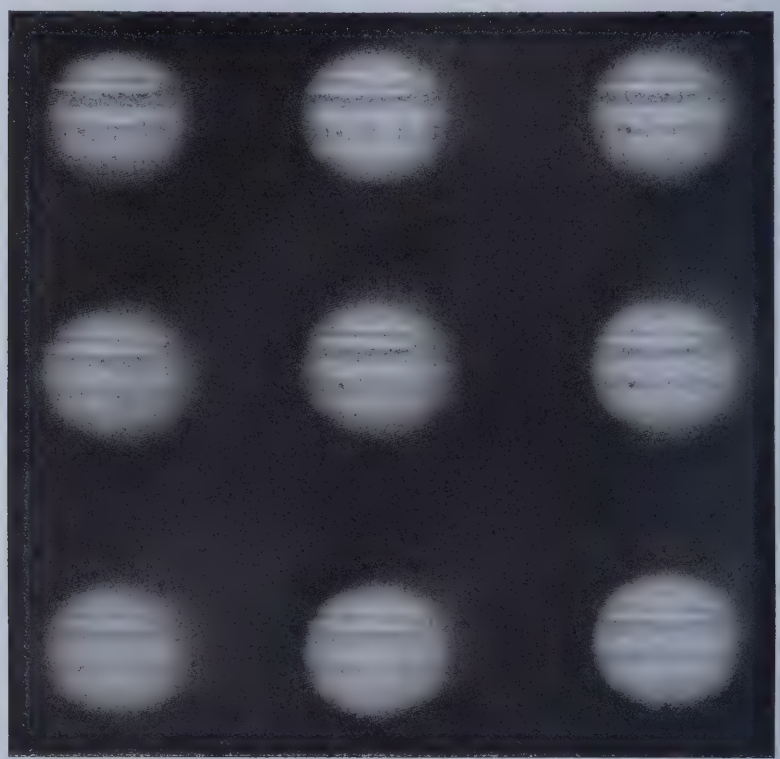


Abb. 24. Photographien des Jupiter von dem Lowell-Observatorium zu Flagstaff. Die Aufnahmen lassen deutlich die Abplattung des Planeten und die verschieden breiten Streifen erkennen.

hellsten Jupitermonde zeigen eine interessante Bindung durch einfachste Zahlenverhältnisse, durch die die Lage aller drei gegeneinander bestimmt ist.

Von den zahlreichen anderen Jupitertrabanten erwähnen wir nur noch den 8. und 9., deren Bahnen im entgegengesetzten Sinne beschrieben werden wie die der übrigen, und die überdies beträchtlichen Störungen durch die Sonne unterliegen.

b) **Saturn.**

In fast doppeltem Abstande wie Jupiter, nämlich in der $9^1/_2$fachen Entfernung der Erde von der Sonne, umwandert in $29^1/_2$ Jahren Saturn das Tagesgestirn. Man möchte diesen Umstand deswegen lebhaft bedauern, weil seine Erforschung vielleicht noch aufschlußreicher sein würde wie die Jupiters, wenn nur sein Abstand von uns etwas geringer wäre. Im Vergleich zu Jupiter, der etwa 318 mal so schwer ist als unsere Erde, ist Saturn schon verhältnismäßig unbedeutend, da er nur knapp

100mal so schwer wie unsere Erde ist. Er erscheint uns im allgemeinen als Stern 1. Größe und erreicht bestenfalls die nullte Größenklasse. Infolge der verschiedenen Breite des sogleich zu erwähnenden Ringes ist eine Schwankung dieser Helligkeit um etwa eine Größenklasse festzustellen. Die gelbliche Saturnkugel schwankt hinsichtlich ihres Durchmessers von der Erde aus gesehen zwischen 15″ und 21″, erfordert zu ihrer Beobachtung also schon merklich größere Instrumente als Jupiter. Das vorliegende Material an Zeichnungen ist entsprechend viel kleiner. Auf Saturns Oberfläche finden sich auch Andeutungen für Streifen, jedoch viel unbestimmter als bei Jupiter. Nur selten werden Flecke beobachtet, die sich zur Umdrehungsbestimmung dieses Planeten eignen. Wir sind daher auch nur ungefähr darüber orientiert, daß dieselbe zwischen $10^1/_4$ und $10^3/_4$ Stunden liegt, ohne daß wir anerkannte gesetzmäßige Beziehungen, ähnlich wie bei der Sonne, anzugeben vermöchten. Die Spektralphotographie läßt erkennen, daß Saturn wie Jupiter Absorptionsstreifen in Orange zeigt, wonach auf eine Ähnlichkeit beider Gashüllen zu schließen wäre.

Das Interessanteste am Saturn ist sein großes Ringsystem, dessen wahre Natur zuerst Huyghens mit einem recht primitiven Fernrohr von nur 50facher Vergrößerung im Jahre 1656 zu erkennen vermochte. Schon sein Zeitgenosse D. Cassini hatte die zutreffende Anschauung, daß dieser Ring nicht fest, sondern aus zahllosen kleinen Trabanten gebildet sein müßte. Erst Maxwell und später Seeliger konnten diese Anschauung theoretisch begründen. Sie wurde durch das vollständige Verschwinden des Saturnringes zu jenen Zeiten anschaulich, wo Sonne und Erde sich in der Ebene des Ringsystems aufhielten. Schon Cassini bemerkte zwischen den beiden äußeren Ringen eine Spaltung, und Galle fiel 1838 ein weiterer sehr zarter Ring, der sogenannte Schleierring, auf, der das Ringsystem von dem bereits Cassini bekannten Hauptteil nach innen zu fortsetzt. Spektrographische Beobachtungen haben unsere Anschauung über den Aufbau des Saturnringes aus lauter kleinen Teilchen durchaus bestätigt, indem sie zeigten, daß die Umdrehungsdauer derselben den Keplerschen Gesetzen entsprechend ihrem Abstande zunimmt. In ähnlicher Weise wie Lücken im Planetoidenringe zwischen der Mars- und Jupiterbahn hauptsächlich bei jenen Umlaufsdauern eintreten, die zu der des Jupiter in einem einfachen Zahlenverhältnis stehen, zeigen auch die Umdrehungsdauern der Saturnringteilchen bei den Lücken entsprechende Verhältnisse zu den Umlaufsdauern der hellsten Saturnbegleiter.

Saturn besitzt wie Jupiter ein reiches Gefolge, das er bis zu den äußersten Grenzen seines Machtbereiches gegenüber der Sonne ausgedehnt hat. Sein äußerster Trabant, die Phöbe, umkreist ihn übrigens im entgegengesetzten Sinne wie die übrigen Satelliten. Sowohl bei Phöbe wie bei den äußersten Jupitermonden liegt die Vermutung nahe, daß es sich hier um verhältnismäßig spät eingefangene Glieder des Trabantenreiches handelt. Auf diese Weise scheint auch die sonderbare Tatsache der Erklärung nähergerückt werden zu können, daß Saturn in fast demselben Abstande von 24 seiner Halbmesser zwei Begleiter besitzt, nämlich den schon seit 1848 bekannten Hyperion und die erst 1905 entdeckte Themis. Charlier hat das System der Saturnbegleiter nach der modernen Quantentheorie aufgebaut, wobei zwischen Rhea und Titan eine Lücke bleibt, ebenso zwischen Hyperion und

Japetus. Derartige Beziehungen gibt es im Sonnensystem vielfach. Bei den Saturnbegleitern wollen wir hier nur darauf hinweisen, daß der größte unter ihnen, Titan, dessen Helligkeit etwa der 9. Größe entspricht, auch mit kleinen Fernrohren gesehen werden kann, sein etwas unsicherer Durchmesser dürfte mit 4400 km den unseres

Abb. 25. Photographien des Planeten Saturn.
Eine technisch hervorragende Leistung von Prof. E. E. Barnard, da die Aufnahmen mit starker Vergrößerung nur bei ruhigster Luft gelingen. Das erste dieser am 19. Nov. 1911 gemachten Bilder (links oben) läßt nicht nur die verschiedenen Ringe sondern auch die Streifen auf dem Planeten selbst erkennen.

Mondes etwas übertreffen. Durch Lichtschwankungen zeichnet sich Japetus aus, der westlich vom Planeten etwa 10. Größe, dagegen östlich beinahe 12. Größe ist. Ein derartiger Unterschied in der Reflexionsfähigkeit zweier Halbkugeln 1:6 eines Himmelskörpers ist sonst im ganzen Sonnensystem nicht nachzuweisen.

c) Uranus und Neptun.

Nachdem wir die Entdeckungsgeschichte der beiden Planeten Uranus und Neptun an anderer Stelle gestreift und gezeigt haben, wie einerseits durch umfassende Durchmusterungsarbeiten und andererseits durch geschickte Anwendung der Gravitationstheorie noch bis in unsere Zeit eine Erweiterung der den Alten bekannten Dimensionen unseres Sonnenreiches möglich war, gehen wir an dieser Stelle noch kurz vom astrophysikalischen Standpunkt auf beide ein.

Uranus umkreist in fast genau 84 Jahren im 19fachen Abstande unserer Erde die Sonne und erscheint uns als winziges Scheibchen von nur 3—4″ Durchmesser, so daß nähere Einzelheiten nur unter besonders günstigen Luftverhältnissen mit einem ausgezeichneten Instrument von einem erfahrenen Beobachter erzielt werden können. Sein wahrer Durchmesser ist etwa viermal so groß wie der unserer Erde, 50000 km. Wir wissen daher von seiner Oberfläche kaum etwas. Streifenbildungen sind vermutet, aber noch nicht bewiesen worden. Seine Helligkeit entspricht etwa der 6. Größe, so daß er unter günstigen Bedingungen auch mit unbewaffnetem Auge gesehen werden kann. Nach genauen photometrischen Untersuchungen zeigt er gelegentlich auftretende Schwankungen seiner Helligkeit, und zwar von verschiedenen Perioden, so daß man das Vorhandensein von Flecken in Schichten von abweichender Umdrehungsdauer angenommen hat. Hiernach scheint die Umdrehung etwa $10^3/_4$ Stunden in Anspruch zu nehmen. Zu dieser kurzen Umdrehungsdauer würde die wiederholt bemerkte Abplattung von $^1/_{12}$ bis $^1/_{15}$ passen.

Uranus zeigt im Spektrum charakteristische Banden, die denen von Jupiter und Saturn entsprechen, so daß wir auf eine Ähnlichkeit der Atmosphären schließen dürfen.

Vier Trabanten umwandern den Uranus, und zwar alle in rückläufigem Sinne bei einer außerordentlichen Neigung der Bahnebene von 98^0. Die Umlaufszeiten liegen zwischen $2^1/_2$ und 13 Tagen. Schätzungsweise dürfen als Durchmesser für die beiden hellsten Uranustrabanten 900 km angenommen werden. Sie sind also verhältnismäßig klein.

Bei Neptun sind die Schwierigkeiten seiner physikalischen Erforschung noch größer als bei Uranus. In der 30fachen Entfernung der Erde von der Sonne umwandert er das Tagesgestirn in 165 Jahren. Im Fernrohr erscheint er wie ein Stern 7,5. Größe, sein Durchmesser von $2^1/_2$″ ist nur in großen Instrumenten als Scheibchen zu erkennen. Das Spektroskop verrät uns wenigstens dieselben Absorptionsbanden in Rot und Gelb wie bei Uranus, so daß beide Planeten, wie oben erwähnt, ähnlich aufgebaut sein dürften. Unser Auge ist leider nicht mehr imstande, die Farben so lichtschwacher Scheibchen zu beurteilen, wie uns Uranus und Neptun im Fernrohr erscheinen. Über die Umdrehungsdauer des Neptun kann man sich nur vermutungsweise äußern, daß dieselbe etwa zwischen 7 und 13 Stunden liegen dürfte.

Neptun wird nach dem gegenwärtigen Stande der Wissenschaft von einem Begleiter im rückläufigen Sinne in nahezu 6 Tagen umkreist. Dieser Begleiter hat

schätzungsweise, mit Rücksicht darauf, daß seine Helligkeit der eines Sternes 14. Größe entspricht, ungefähr denselben Durchmesser wie der Erdmond. Seinem Spektrum nach müßte seine Farbe verhältnismäßig blau sein, da er photographisch leichter als optisch zu verfolgen ist.

XII. Die erdähnlichen Planeten und das Problem der Bewohnbarkeit der Weltkörper.

Unser Urteil über die Stellung unseres Planeten im Weltraum gewinnt am meisten an Inhalt, wenn wir die Erde mit ähnlichen Planeten des Sonnenreiches in Parallele stellen. Wir werden dazu besonders angeregt durch die so häufig aufgeworfene Frage nach der Bewohnbarkeit der Welten, die als wissenschaftliches Problem allerdings von sehr geringer Bedeutung ist. Der Mensch als „Gesellschaftstier" im Sinne der Antike hat ein unerwartet großes Interesse an der Klärung dieser Frage, als ob er ernsthaft die Möglichkeit erwöge, mit den Bewohnern anderer Weltkörper in Verbindung zu treten. Wir streifen hier nur die Tatsache, daß Prof. Oberth vom Standpunkte des Ingenieurs ernsthafte Untersuchungen in dem Sinne unternommen hat, ob eine Rakete aus dem Anziehungsbereich der Erde unter der Voraussetzung von verhältnismäßig geringen Beschleunigungen herausgetrieben werden kann, wie der Mensch sie erfahrungsgemäß noch zu ertragen vermag. Wir lächeln heute noch über derartige Erwägungen, aber die geradezu fabelhafte Entwicklung der Technik im Hinblick auf die Eroberung der Luft durch das Flugzeug und die Erweiterung der Verständigungsmöglichkeiten durch die Radiotelephonie, die wir im letzten Menschenalter erlebt haben, erinnert uns daran, wie vorsichtig man mit dem Urteil „unmöglich" sein muß.

Die erdähnlichen Planeten unseres Sonnenreiches wollen wir in der Weise gruppieren, wie sie ihrer kosmogonischen Entwicklung entsprechend ungefähr anzuordnen sind. Wir beschreiten dabei einen ähnlichen Weg wie bei der Gruppierung der Fixsterne gemäß ihren Spektraltypen, wo uns diese Anordnung ein Urteil über den Verlauf des Sterndaseins ermöglichte. Bei den Planeten liegen die Verhältnisse etwas anders insofern, als wir viel weniger Objekte in Vergleich stellen können und uns daher mit großen Lücken abzufinden haben. Der Gesichtspunkt unserer Anordnung ist durch den Grad der Verödung gegeben, den wir auf der Oberfläche des betreffenden Wandelsternes annehmen müssen. Wir beurteilen dabei die Verödung naturgemäß nach dem Mangel einer Gashülle, durch deren Zirkulation in den meisten Fällen erst Lebensmöglichkeiten gegeben sind.

Die Fähigkeit eines Planeten, eine Gashülle zu halten, hängt nun hauptsächlich von seiner Schwere ab, d. h. von der Kraft, mit der er die einzelnen Gasteilchen an sich zu fesseln vermag.

Diese Frage läßt sich in verhältnismäßig einfacher Weise auf Grund der sogenannten kinetischen Gastheorie beantworten. Nach dieser führen alle Moleküle des Gases Bewegungen aus, die nach einer Formel von der absoluten Temperatur und seinem spezifischen Gewicht abhängen. Die Temperaturen werden dabei vom absoluten Nullpunkt (oder minus 273° C) aus gerechnet und das spezifische Gewicht

auf die atmosphärische Luft als Einheit bezogen. Nach Clausius ist dann die mittlere Geschwindigkeit in Metern pro Sekunde gleich 485 mal der Quadratwurzel aus der absoluten Temperatur dividiert durch das Produkt aus 273 und dem spezifischen Gewicht. Setzt man an der oberen Grenze der Erdatmosphäre die Temperatur von 100° C Kälte voraus, so ergibt sich als mittlere Molekulargeschwindigkeit für Wasserstoff, Helium, Wasserdampf und Luft 1.47, 1.04, 0.49 und 0.39 km in der Sekunde. Von unserer Erde kann sich infolge ihrer Schwerkraft nur ein Körper entfernen, dessen Geschwindigkeit 11 km in der Sekunde überschreitet. Die genannten Geschwindigkeiten sind nun mittlere, d. h. es kommen erheblich größere und kleinere innerhalb gewisser Grenzen vor, die man durch eine bestimmte Theorie abschätzen kann, und diejenigen Moleküle, die dabei den Grenzbetrag von 11 km in der Sekunde überschreiten, gehen der Erde auf Nimmerwiedersehen verloren. Es erklärt sich dadurch ohne Schwierigkeit, daß uns im Laufe von Jahrmillionen ein so leichtes Gas wie der Wasserstoff in freier Form vollständig abhanden gekommen ist. Und dabei handelt es sich vergleichsweise bei der Erde noch um den schwersten Planeten der hier betrachteten Gruppe.

Werfen wir noch einen Blick auf das andere Extrem, auf den Erdmond, so stellt sich heraus, daß hier die Grenzgeschwindigkeit nur 2.4 km in der Sekunde beträgt, um das Entweichen eines Gases zu ermöglichen. Diese Geschwindigkeit ist, wie sich aus dem Vergleich mit obigen Zahlen ergibt, noch nicht einmal das Doppelte der für 100° Kälte berechneten Geschwindigkeit der Wasserstoffmoleküle. Ziehen wir den Vergleich für die angenommene Temperatur weiter, so konnten sich schwere Gase, wie Sauerstoff und Stickstoff vom Monde ebenso leicht entfernen, wie der Wasserstoff von unserer Erde. Es leuchtet daher ein, daß auf diesem Gestirn eine vollständige Verödung der Oberfläche eingetreten sein wird.

Unsere Einteilung ergibt sich daher in folgender Weise durch Vergleich der Massen der Planeten mit der Erdmasse. Zunächst Venus, die 82% der Erdmasse erreicht, dann Mars mit 11%, Merkur mit 6% und schließlich der Mond, dessen Masse im Verhältnis zur Erdmasse nur $^1/_{81}$, also wenig mehr als 1% erreicht. Der Vergleich der Bedingungen auf diesen erdähnlichen Wandelsternen wird, so günstig die Anordnung nach der Masse erscheinen mag, bedeutend erschwert durch die Abweichung der Umdrehungsverhältnisse, die wir hier festzustellen haben.

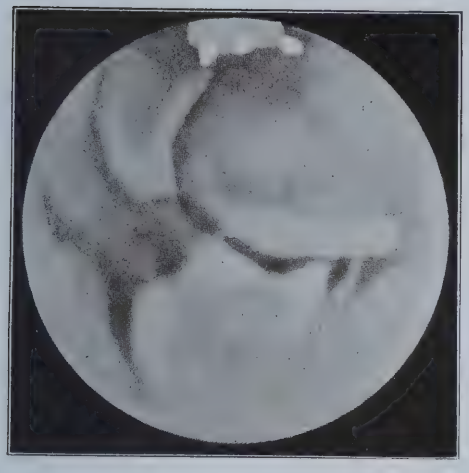
Während bei unserer Erde die Neigung der Umdrehungsachse gegen die Bahnebene ungefähr 67° erreicht, wodurch die uns angenehme Verteilung der Jahreszeiten in den gemäßigten Zonen unseres Planeten hervorgerufen wird — Bedingungen, die wir ähnlich bei Mars wiederfinden werden —, scheint die Umdrehungsachse der Venus so stark geneigt zu sein, daß sie nur einige Grade aus der Bahnebene sich erhebt, und bei Merkur haben wir schließlich einen Sonderfall vor uns, der dem von Mond und Erde durchaus entsprechen dürfte insofern, als Merkur, wie der Mond der Erde, der Sonne stets dieselbe Seite zuwendet.

a) Venus.

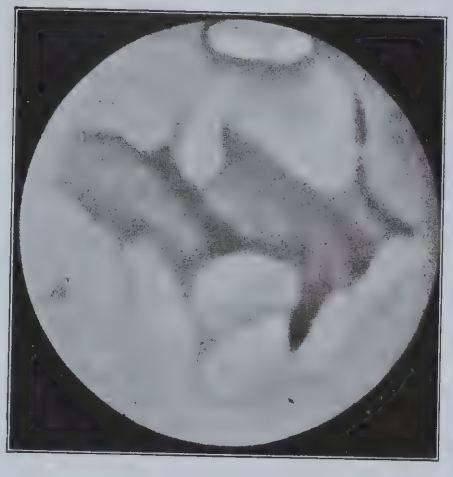
Kosmologisch kommt Venus sowohl ihrer Masse wie ihrer Größe nach der Erde sehr nahe, denn ihr Durchmesser beträgt 12200 km, also nur 600 km weniger als der unserer Erde. Ihre Entfernung von der Sonne ändert sich wegen der auffallend geringen Exzentrizität ihrer Bahn von nur 0.7% sehr wenig. Als Einheit der Entfernung ist der Abstand der Erde von der Sonne üblich, und in dieser ausgedrückt schwankt der Abstand der Venus von der Sonne nur zwischen 0.728 und 0.718. Ihren Umlauf vollführt sie in 225 Tagen. Dieser Zeitraum gleicht sich mit dem Erdumlauf in der Weise aus, daß sich schon nach beiläufig 8 Jahren die Beobachtungsverhältnisse in sehr ähnlicher Weise wiederholen. Dabei kann ihre Entfernung von der Erde zwischen 1.73 und 0.27 astronomischen Einheiten schwanken. Ihr scheinbarer Durchmesser kann daher von über einer Bogenminute (61.8″) bis zu 9.7″ herabsinken. Ihre Helligkeit steigt dabei allgemein um nur eine Größenklasse auf höchstens — 4.3 Größe an.

Trotz dieser günstigen Bedingungen ist die Beobachtung der Venus dadurch erschwert, daß ihre Oberfläche ein starkes Reflexionsvermögen besitzt, daß der Planet also im Fernrohr besonders hell erscheint. Lange Zeit hat man sich vergeblich bemüht, das Rätsel ihrer Umdrehung zu lösen, da zu den wirklich dort vielleicht vorhandenen Streifen und Fleckchen andere hinzukamen, die durch die Natur unseres Auges hervorgerufen werden. Wir haben schon früher davon erfahren, daß im Anschluß an die Arbeiten von Ernst Mach unter eingehender mathematischer Begründung Billiger nachweisen konnte, daß ein Teil solcher Streifen ebensogut auf einer vollkommen weißen Gipskugel wie auf dem Planeten auftreten kann. Nachdem man diese Einflüsse berücksichtigt hatte, stellte sich in Verbindung mit den spektroskopischen Ergebnissen heraus, daß Schiaparellis Widerlegung der früher angenommenen kurzen Umdrehungsdauer der Venus von etwa einem Tage doch nicht im vollen Umfange aufrecht erhalten werden konnte. Man ist heute geneigt, eine Umdrehungsdauer von etwa 24 Stunden für zutreffend zu erachten, wie sie schon von den beiden Cassini, Schröter und De Vico angenommen wurde. Obwohl die Frage als noch nicht definitiv geklärt zu betrachten ist, scheint doch Trouvelot und heute H. J. Gramatzki mit seiner These auf dem richtigen Wege zu sein, daß die Venusachse nur wenige Grade gegen die Venusbahnebene geneigt und ungefähr auf das Zeichen des Wassermannes gerichtet ist.

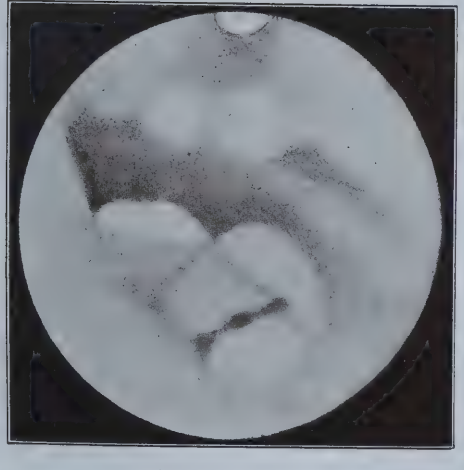
Bei einer so ungewöhnlich großen Neigung ist der Unterschied der Jahreszeiten so groß, daß von einer Übergangszone, wie wir sie bei der Erde und bei dem Mars feststellen können, nicht zu reden ist. Entweder hat die Südhalbkugel dauernd Sommer, und zwar in einem Maße, das im Hinblick auf die Nähe der Venus bei der Sonne als unerträglich bezeichnet werden muß, oder die Nordhalbkugel befindet sich ebenfalls auf ein halbes Venusjahr in der gleichen ungünstigen Lage. Unter diesen Umständen ist von einer Bewohnbarkeit in ähnlichem Sinne wie bei unserer Erde kaum zu sprechen, wenn auch nicht definitiv in Abrede gestellt werden darf, daß sich schmale Streifen auf Venus angeben lassen, die noch leidliche Bedingungen ergeben.



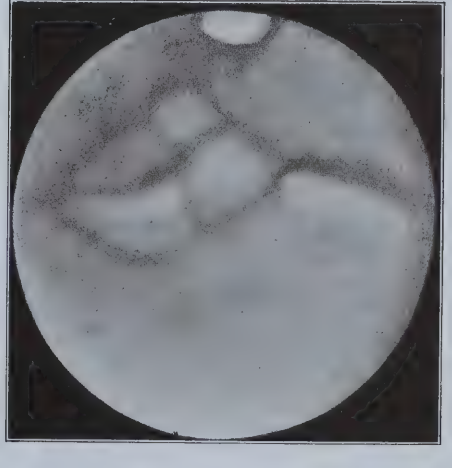
28. August. L = 325°.



31. August. L = 260°.



8. September. L = 210°.



13. September. L = 110°.

Zeichnungen des Mars während der günstigen Erdnähe 1924.
Von Prof. Dr. K. Graff am großen Refraktor der Hamburger Sternwarte zu Bergedorf.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Die Frage nach der Beschaffenheit der Gashülle der Venus gestaltete sich je länger desto schwieriger. Daß eine solche Gashülle vorhanden sein muß, beweist schon die Tatsache, daß die feine Venussichel, die wir im Fernrohr beobachten können, wenn dieser Planet zwischen Sonne und Erde in der Nähe des Tagesgestirnes vorüberwandert, weiter ausgezogen ist, als es aus geometrischen Gründen der Fall sein dürfte. Es ist das Vorhandensein eines Dämmerungssaumes an der Nachtgrenze der Venus wie bei unserer Erde festzustellen. Noch überzeugender tritt diese Atmosphäre in die Erscheinung, wenn Venus direkt vor der Sonne vorüberwandert. In dem Augenblick nämlich, wo sich die dunkle Venusscheibe anschickt, die Sonne zu betreten, erscheint sie plötzlich vollständig von einem hellen Saume umgeben, was auch nur durch eine Atmosphäre zu erklären ist. Man hat sogar den Grad der Strahlenbrechung in dieser Gashülle zu berechnen versucht und etwa den doppelten Betrag wie bei unserer Erde gefunden.

Im einzelnen sind wir über das Vorhandensein von Wasserdampf und Sauerstoff bei Venus noch durchaus im unklaren, da die neuen Ergebnisse die früheren Feststellungen nicht einwandfrei bestätigen konnten. Man neigt heute zu der Anschauung, daß unseren Beobachtungen nur eine hohe Schicht der Wolkenhülle der Venus von leicht gelblicher Farbe zugängig ist, die ungefähr der der sogenannten Stratosphäre unserer Erde in 11 km Höhe entsprechen mag. Was unter dieser Wolkenschicht sich abspielt, entzieht sich wesentlich unserer Beobachtung, und oberhalb derselben ist ja auch bei unserer Erde die Lufthülle schon außerordentlich dünn.

Für einen außerhalb beider Planeten stehenden Beobachter wird der Gesamteindruck, selbstverständlich abgesehen von dem auffälligen Erdmond, ähnlich sein. Von der Venus aus gesehen erreicht die Erde im günstigsten Falle etwa die — 6. und der Mond die — 2. Größe, während von uns aus gesehen die größte Helligkeit der Venus etwa — 4. Größe ist. Ein Venusmond ist nicht aufgefunden worden und wahrscheinlich auch nicht vorhanden.

b) Mars.

Über den Planeten Mars gelangt etwa alle zwei Jahre, wenn er der Erde besonders nahe kommt, eine Menge zum Teil verwirrender Nachrichten in die Tagespresse, so daß es schwer hält, dem gerade für diesen Wandelstern interessierten Freund der Wissenschaft zu einem objektiven Urteil zu verhelfen. Leider ist ja dieser Planet auch gelegentlich das Mittel zur Verbreitung von Theorien gewesen, die zwar mit großem Wortschwall verkündet wurden, aber einer schärferen wissenschaftlichen Prüfung nicht Stand zu halten vermögen (Tafel VII).

Besonders ernüchternd haben in der „Kanalfrage" die Untersuchungen von August Kühl gewirkt, die er auf dem Leipziger Astronomenkongreß 1924 vortrug. Wir haben sie schon früher in anderem Zusammenhange bei den Erwägungen über die Leistung des menschlichen Auges behandelt und möchten an dieser Stelle hauptsächlich davor warnen, nun etwa die gesamten Ergebnisse der Marsforschung als dadurch in Frage gestellt anzusehen. Es handelt sich wohlgemerkt im wesentlichen um die als Kontrastlinien gedeuteten „Kanäle", während sonst das Marsbild, wie es im Laufe etwa der letzten hundert Jahre entstanden ist, erhalten blieb.

Um eine Vorstellung von den kosmischen Verhältnissen unserer Nachbarwelt zu gewinnen, müssen wir vor allem die zuerst von Kepler erforschten Umlaufsbedingungen von Mars und Erde beachten. Die Marsbahn umschließt die unseres Planeten und wird in 687 Tagen im Vergleich zu 365 bei der Erde zurückgelegt. Während aber die Erdbahn nahezu einem Kreise mit der Sonne als Mittelpunkt entspricht, schwanken die Abstände des Mars vom Tagesgestirn erheblich, und zwar von einem Kleinstwert, der ungefähr ein Drittel größer ist als der mittlere Abstand der Erde von der Sonne, bis zu einem Höchstwert, der zwei Drittel größer ist als der mittlere Sonnenabstand der Erde. Es liegt auf der Hand, daß diese Schwankung des Abstandes sich nicht nur in einer erheblichen Verschiedenheit der Sonnenbestrahlung und der Jahreszeiten unserer rötlichen Nachbarwelt geltend machen wird, sondern daß auch große Unterschiede in den Sichtbarkeitsverhältnissen von der Erde aus eintreten werden. Diese sind für uns von ausschlaggebender Bedeutung, da ja von ihnen allein die Möglichkeit abhängt, unsere Nachbarwelt eingehender zu erforschen. Tritt der Mars der Sonne gegenüber zur Zeit seines sogenannten Perihels, wenn er also der Sonne besonders nahe kommt, dann erscheint er uns doppelt so groß, wie bei einem besonders ungünstigen Gegenschein zur Sonne, der zur Zeit seines größten Abstandes vom Tagesgestirn, im sogenannten Aphel, eintritt. Beispielsweise betrug der scheinbare Winkeldurchmesser des Mars zur Zeit der Erdnähen 1916 und 1918 nur 14 Bogensekunden, während er 1924 auf über 25″ anstieg. Ein Unterschied zwischen der außerordentlich günstigen Erdnähe im August 1924 und der theoretisch günstigsten überhaupt am 29. August 2003, ist für die Beobachtung nicht mehr merklich. Selbstverständlich erleidet auch die Helligkeit große Schwankungen; diese liegen ungefähr zwischen — 2.8 Größe (Venus noch nicht erreichend, aber heller als Jupiter) und 1.6 Größe (etwa Regulus entsprechend).

Die Geschichte der Marsforschung kann man wohl erst mit der Erfindung des Fernrohrs, und zwar mit dem Jahre 1610 beginnen lassen, wenn auch die erste überlieferte Marsposition in dem sogenannten „Almagest" des Ptolemäus schon aus dem Jahre 272 v. Chr. datiert. Schon im Jahre 1610 entdeckte Galilei, als er mit dem von ihm nachgebauten holländischen Fernrohr den Mars betrachtete, daß dieser eine Abweichung von der runden Scheibenform infolge der jeweiligen Bestrahlungsverhältnisse durch die Sonne zeigen kann. Wir haben hier die Entdeckung der sogenannten Marsphasen festzustellen. Mit bedeutend verbesserten Fernrohren gelang es in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts dem Holländer Huyghens 1659, Einzelheiten auf der Marsoberfläche zu entdecken, die ihn eine Umdrehungsdauer des Mars in etwa einem Erdentag vermuten ließen. Schon wenige Jahre später war es dem hervorragenden Planetenbeobachter Cassini dem Älteren möglich, die Umdrehungsdauer des Mars bis auf wenige Minuten zutreffend (24 Stunden 37 Minuten genau) anzugeben und auch schon die Bedeutung der weißen Punkte aufzuklären, die sich an gegenüberliegenden Stellen der Marsscheibe immer wieder zeigten, die Polarflecke als solche zu erkennen. Erst über ein Jahrhundert später haben wir 1777 durch den nach England ausgewanderten deutschen Musiker Wilhelm Herschel einen bedeutenden Fortschritt der Marsforschung durch die Anwendung von Spiegelteleskopen zu verzeichnen. Wilhelm Herschel

war auch der erste, der die Lage der Marsachse im Raum genauer festlegen und damit die Ähnlichkeit der dortigen Verhältnisse mit den irdischen nachweisen konnte. Wiederum ein deutscher Astronom, Heinrich Mädler, bezeichnet mit seinem Namen die nächste Epoche, da es ihm von der günstigen Marsnähe 1830 an, die der von 1924 durchaus vergleichbar ist, gelang, eine erste brauchbare Marskarte anzufertigen. Einem 47jährigen Zyklus entsprechend, in dem sich besonders günstige Erdnähen des Mars folgen, stoßen wir 1877 auf die großen Erfolge des Italieners Giovanni Schiaparelli, dessen Marskarten so verbreitet sind, daß sie wohl jeder Leser schon einmal zu Gesicht bekommen hat. Unter den Beobachtungsergebnissen Schiaparellis war das der gelegentlichen Verdoppelung der Kanäle am meisten aufsehenerregend. Heute hat es diese Sensation vollständig verloren, da wir es durch die Eigenschaften unseres Auges zu deuten gelernt haben.

Schon bei den allgemein orientierenden Bemerkungen über die erdähnlichen Planeten haben wir einen Anhalt für die Marsdimensionen gegeben und möchten an dieser Stelle nur des bequemen Merkens halber die beiden Zahlen 15 und 8 zur Einprägung empfehlen, weil mit erheblicher Annäherung einerseits 15 Erdjahre 8 Marsumläufen entsprechen und sich andererseits zufällig der Erddurchmesser zum Marsdurchmesser wie 15 zu 8 verhält. Daraus ergibt sich weiter, daß der Mars in seinem Durchmesser nur etwa doppelt so groß ist als unser Mond. Seine Masse erreicht nur 11% der Erdmasse, und diesem Umstande hat er es zu verdanken, daß seine Gashülle schon außerordentlich dünn geworden ist.

Deren Eigenschaften sind für die Beurteilung der Temperaturverhältnisse auf Mars von hoher Wichtigkeit, die wiederum für die Frage nach der Bewohnbarkeit von ausschlaggebender Bedeutung sind. Dabei ist nicht außer acht zu lassen, daß ja der Marsumlauf in einer wesentlich stärker vom Kreise abweichenden Bahn erfolgt, als der unserer Erde. Die Jahreszeiten auf Mars weisen daher auch, wenn wir sie in Erdtagen ausdrücken, viel größere Unterschiede als bei uns auf. Bezeichnen wir sie in derselben Weise wie bei unserer Erde, also den Frühling durch das Hinaufsteigen der Sonne über den Marsäquator für die Nordhalbkugel des Planeten und die übrigen Jahreszeiten entsprechend, so ergibt sich folgendes für die einzelnen Abschnitte: Frühling 199 Tage, Sommer 183 Tage, Herbst 146 Tage und Winter 159 Tage. Stellen wir die beiden Hauptjahreszeiten gegenüber, so ergibt sich der unerwartet große Unterschied des Marssommers der Nordhalbkugel zu 382 Tagen gegenüber dem Marswinter zu 305 Tagen. Man hat die Vermutung ausgesprochen, daß der lange Sommer der Nordhalbkugel des Mars mit dem Beobachtungsergebnis in Verbindung zu bringen sein möchte, daß diese stärker ausgetrocknet ist als die südliche. Da jedoch ähnliche Berechnungen wie über die Eiszeiten der Erde über Mars noch nicht vorliegen, so scheint uns ein solcher Schluß verfrüht. Wir sind auf Grund zusammenfassender Bearbeitung der Marsergebnisse über den Verlauf dieser Jahreszeiten schon leidlich gut unterrichtet und können besonders den großen Unterschied des Verhaltens der beiden Halbkugeln genau feststellen. Die Verschiedenheit der beiden Polarflecke hinsichtlich ihrer Schneebedeckung hat sich hier als ein außerordentlich wertvoller Anhaltspunkt dafür erwiesen, wie stark die Marsatmosphäre die Sonnenstrahlung zu verschlucken vermag. Dieser Unterschied hat Prof. Milankowitsch zur Bestimmung des Transmissionskoeffizienten der Mars-

atmosphäre verholfen. Infolge der viel durchsichtigeren Gashülle des Mars ist dort die direkte Sonnenbestrahlung bis zu einer Höhe von beiläufig 30° trotz der größeren Entfernung des Mars von der Sonne intensiver als bei unserer Erde. Für die Marspole ergibt sich, daß sie bei jeweils entsprechenden Sonnenhöhen über dem Horizont einer noch stärkeren Bestrahlung ausgesetzt sind als die Pole unserer Erde. Die Gesamtwirkung ist jedoch viel geringer, denn die mittlere Temperatur auf Mars ist im Gegensatz zu + 15° C der Erde bei Mars zu — 17° anzunehmen. Die Berechnungen von Milankowitsch, denen keine besonderen Annahmen über den Wasserdampf- und Kohlensäuregehalt der Marsatmosphäre zugrunde liegen, sondern die direkt aus den Beobachtungsergebnissen der Pole abgeleitet wurden, führten zu folgenden jährlichen Mitteltemperaturen der einzelnen Marszonen, wobei der Begriff der areographischen Breite einfach der geographischen Breite entspricht.

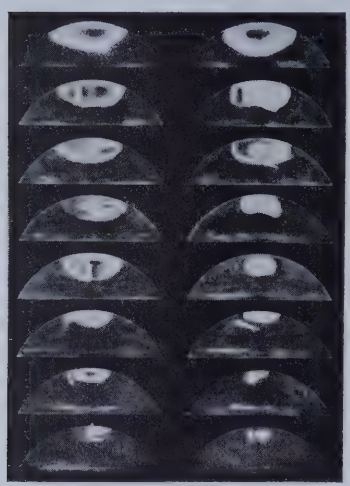


Abb. 26. Allmähliches Abschmelzen des Südpolarfleckes des Mars.
Links 1892 vom 8. Juli bis 29. Aug. Rechts durchaus entsprechend 1894 vom 21. Mai bis 7. Oktober. Der Vorgang wiederholt sich ähnlich in jedem Marsjahr und hat große Ähnlichkeit mit Vorgängen auf den Polen der Erde.

Areographische Breite	0°	10°	20°	30°	40°
Temperaturen C	— 3°	— 4°	— 7°	— 12°	— 18°
Areographische Breite	**50°**	**60°**	**70°**	**80°**	**90°**
Temperaturen C	— 27°	— 38°	— 46°	— 51°	— 52°

In den ersten Morgenstunden findet auf Mars starke Bodenerwärmung statt, lebhafte Konvektionsströme setzen ein, die nächtlichen Niederschläge verdampfen schnell. Der Wasserdampfgehalt der Bodenschichten liefert eine wärmeschützende Hülle, die den so gut wie völlig wolkenlosen Tag auf Mars verhältnismäßig heiß werden läßt. Nach Sonnenuntergang findet schnelle Abkühlung statt, die sich dadurch noch steigert, daß der wärmeschützende Wasserdampf aus der Luft bald ausgeschieden wird, so daß also die nächtliche Ausstrahlung in den Weltenraum fast ungehindert erfolgen und eine bitterkalte Nacht hervorbringen muß.

Während der günstigen Erdnähe 1924 ist es möglich gewesen, mit dem größten Spiegelteleskop der Erde von $2^1/_2$ m Durchmesser und einem kleinen Thermoelement die Wärmestrahlung des Mars genau zu messen. Die Auswertung der Ergebnisse von Edison Petit und Seth B. Nicholson führte zu folgenden Ergebnissen, wobei die Berechnung einerseits nach spektraler Zerlegung der Strahlung und andererseits im ganzen nach dem Stefanschen Strahlungsgesetz erfolgte. Diese neuesten Ergebnisse sind folgende.

Marsgebiet	Spektrum	Stefans Gesetz	Mittelwert	
			absolut	Centigrad
Mitte voll beleuchtet.	285°	275°	280°	+ 7° C
Rand	—	260°	260°	— 13°
Polargebiet	170°	240°	205°	— 68°
Gesamte Scheibe . .	240°	260°	250°	— 23°

Die Mitteltemperatur für die ganze Scheibe von ungefähr 250° abſol. oder — 23° C entſpricht, wenn man die Unſicherheit der direkten Temperaturmeſſung berückſichtigt, den Berechnungen von Milankowitſch im hohen Maße. Auch die nur unſicher gefundene Temperatur der Pole iſt als Beſtätigung ſeiner Berechnung aufzufaſſen. Im einzelnen konnte mit den außerordentlichen amerikaniſchen Hilfsmitteln die Temperatur im Verlaufe eines Marstages einigermaßen feſtgeſtellt werden, wobei ſich kein merklicher Unterſchied zwiſchen dem Eintreten der Maximaltemperatur und dem Marsmittag ergab. Dies ſteht zwar in Widerſpruch mit den Wahrnehmungen von Coblentz und Campland, die, wie bei der Erde, eine kleine Verſchiebung zum Nachmittag hin feſtgeſtellt haben wollten, erſcheint aber aus dem Grunde zutreffend, weil die Marsatmoſphäre ſo ſehr dünn iſt. Die letztgenannten Forſcher auf der Lowell-Sternwarte treten auch für eine höhere Mitteltemperatur auf Mars ein, die ſogar die der Erde übertreffen ſoll.

Eine Deutung der Oberflächengebilde auf Mars wird am leichteſten durch Vergleich mit ähnlichen Gebieten auf unſerer Erde gelingen, die den Zuſtand des Alterns beſonders deutlich erkennen laſſen. In dieſem Sinne müſſen wir auf die irdiſchen Wüſten, etwa auf die Sahara und die Schlammflüſſe in Perſien, hinweiſen, die Sven Hedin näher erforſcht und Arrhenius zuerſt zur Deutung der Alterserſcheinungen auf Mars herangezogen hat. Wer ſich etwa das Leben der Marsbewohner, deren Exiſtenz im Hinblick auf die niedrige Temperatur und die außerordentlich dünne Luft in hohem Maße zweifelhaft iſt, ein Bild machen will, mag etwa das Leben auf den Bolivianiſchen Boraxfeldern in 5000 m Meereshöhe zum Vergleich heranziehen. Auch die Erlebniſſe in Phari-Dzong am Himalaja ſind dafür lehrreich. Eine eingehende Erklärung der verſchiedenen Oberflächengebilde des Mars möchten wir an dieſer Stelle nicht geben, ſondern uns auf die eben angeführten Vergleiche beziehen, die ja zur Deutung der hellen Flecken als Wüſtengebiete und der dunkleren als Bereiche niederſter Vegetation und Berieſelungsgebiete durch die erſt bei etwa 20° Kälte gefrierenden Salzlöſungen auf Mars Veranlaſſung geben, die wir auch von den irdiſchen Wüſten her kennen.

Mars wird von zwei Monden umkreiſt, die trotz ihrer außerordentlichen Kleinheit doch hohes wiſſenſchaftliches Intereſſe beanſpruchen dürfen. Sie wurden von A. Hall während der beſonders günſtigen Marsnähe 1877 entdeckt. Da ſie dem Hauptplaneten ſehr nahe ſtehen, iſt ihre Beobachtung recht ſchwierig, und wir können auch ihre Helligkeit in Größenklaſſen nur ungefähr angeben. Dieſelbe liegt etwa zwiſchen der 11. und 13. Größe. Schätzungsweiſe beträgt ihr Durchmeſſer nur wenige Zehner von Kilometern. Genauere Angaben können nicht gemacht werden. Der äußere Marsmond Deimos umwandert den Planeten in 30 Stunden und 18 Minuten, wobei er in ſeiner Helligkeit von deſſen Oberfläche aus etwa der Venus entſprechen mag, wie wir ſie ſehen. Von ganz beſonderem Intereſſe iſt der innere Marsmond Phobos, weil er ſeinen Umlauf in der enorm kurzen Zeitdauer von 7 Stunden 39 Minuten in einem Abſtande von nur 6000 km von der Planetenoberfläche vollführt. Man hat ungefähr abgeſchätzt, daß er trotzdem einem etwaigen Marsbewohner nur ungefähr ſo groß wie uns der Erdmond erſcheinen wird. Er geht im Weſten auf und im Oſten unter, was uns recht ſonderbar vorkommen dürfte, wenn wir drüben ſein würden.

Des Phobos Abstand vom Marsmittelpunkt entspricht nur $2^3/_4$ Halbmesser des Mars, und damit nähert sich dieser Trabant in bedenklichem Maße der sogenannten Rocheschen Grenze. Der französische Mathematiker Roche hat berechnet, daß ein Planetenbegleiter, der aus derselben Materie wie der Planet selbst besteht, dem Mittelpunkt des Letztgenannten nicht näher kommen kann, als bis auf 2.44 Planetenhalbmesser. Innerhalb dieser Grenze würde er durch die Flutkräfte zerrissen werden. Nur wenn er etwa so groß ist wie ein Stein, darf man annehmen, daß seine Kohäsion genügen würde, um die Flutkraft auszugleichen. Ist die Dichtigkeit von Planet und Satellit nicht genau gleich, so kann die Grenze leicht zahlenmäßig berechnet werden, indem man 2.44 mit der Kubikwurzel aus dem Verhältnis der Dichtigkeiten von Planet und Begleiter multipliziert. Vielleicht wird sich eines Tages feststellen lassen, daß dieser kleine Trabant plötzlich verschwunden ist. Wir können dann wohl das Dichteverhältnis genau beurteilen, aber die Astronomie ist um ein besonders wichtiges Forschungsobjekt ärmer.

c) Merkur.

Merkur, der kleinste unter den Großen Planeten, mit nur 4800 km Durchmesser, übertrifft darin den Erdmond mit 3473 km nicht gerade erheblich. Er steht der Sonne, die er in 88 Tagen umwandert, sehr nahe, wobei jedoch sein Abstand von derselben infolge der erheblichen Exzentrizität seiner Bahn zwischen 0.31 und 0.47 astronomischen Einheiten schwankt. Die Beobachtungsbedingungen von der Erde aus wiederholen sich zunächst in einem synodischen Umlaufe von 116 Tagen bzw. alle Jahre um etwa 18 Tage früher und schließlich in einem großen Kreislauf von 46 Jahren. Dieser kann vorteilhaft zur Abschätzung der Beobachtungsbedingungen etwa auf Grund älterer Daten benutzt werden (wobei allerdings die Zahl der Schalttage zu berücksichtigen ist), und hat schon den Chaldäern zu derartigen Zwecken gedient. Die Abweichung der Bahnform vom Kreise läßt seinen Abstand von der Sonne im Winkelmaß erheblich schwanken; unter günstigen Bedingungen etwa bei der größten östlichen Ausweichung von der Sonne Ende Juli steigt dieser auf 27^0. Für uns ist allerdings diese Zeit zu Beobachtungen mit freiem Auge nicht besonders zu empfehlen, da ja dann die Dämmerung störend wirkt. Seine Helligkeit erreicht im Höchstfalle die des Sirius, er kann bei der unteren Konjunktion als kleine schwarze Scheibe vor der Sonne vorüberziehen. Derartige Merkurdurchgänge ereignen sich etwa alle 10 bis 15 Jahre und haben die hohe Bedeutung, die man ihnen früher beimaß, inzwischen fast vollständig verloren.

Die Erforschung der Oberflächenbeschaffenheit des Merkur stößt infolge seines geringen Durchmessers auf große Schwierigkeiten. Der Fachastronom beschränkt sich gewiß nicht etwa auf die einzige Woche, während deren der Planet bei größeren Ausweichungen von der Sonne unter leidlich günstigen Bedingungen aufgesucht werden kann, sondern stellt ihn mit Hilfe seines parallaktisch montierten Instrumentes jederzeit, auch bei Tage, ein. Leider erreichen die Dimensionen der kleinen Scheibe während des in Betracht kommenden Zeitraumes nur etwa 6″ bis 8″, so daß schon erhebliche Vergrößerung notwendig ist, um das Scheibchen als solches zu erkennen. Flecke auf demselben sind daher nur mit großer Anstrengung wahr-

Abb. 27. Der Ringwall „Coppernicus" auf dem Monde.
Mit dem 40zölligen Refraktor der Yerkes-Sternwarte aufgenommen von Prof. G. W. Ritchey. Links unterhalb der Mitte fällt eine Reihe von Löchern auf, die den vom Flugzeug aus gesehenen Bombeneinschlägen durchaus entspricht. Mondkrater gelten als Aufsturzgebilde.

zunehmen, und die Frage nach der Merkurumdrehung ist ebensowenig wie etwa bei der Venus definitiv entschieden. Auch bei Merkur treten jene zarten Streifen auf, die wir durch die Untersuchungen von Villiger als durch unser Auge hervorgerufen erkannten. Unter Berücksichtigung derselben scheinen die letzten Beobachtungen dem Ergebnis Schiaparellis nicht zu widersprechen, daß der Merkur der Sonne stets dieselbe Seite zuwendet, also als Mond der Sonne angesprochen werden darf. Infolge der erheblichen Exzentrizität seiner Bahn ist die von der Sonne bestrahlte Fläche merklich größer, als etwa eine Hälfte des Planeten, aber trotzdem bleibt ein breiter Streifen übrig, der wohl dauernd dem kalten Weltraum ausgesetzt ist. Die Lichtkurve des Merkur entspricht nach Müllers Messungen durchaus der unseres Mondes, wonach zu erwarten ist, daß die Oberflächenverhältnisse beider Himmelskörper ähnlich sein werden. Die geringe Masse des Merkur kommt dieser Auffassung ebenfalls entgegen. Mit einer Atmosphäre auf diesem Planeten ist daher ebensowenig wie bei dem Erdmond zu rechnen, mithin kann die Frage seiner Bewohnbarkeit wohl außer Betracht bleiben.

d) Der Erdmond.

Nach der sonst allgemein üblichen Einteilung der Beobachtungsergebnisse im Sonnenreich heißt es fast einem Planetenbegleiter zu viel Ehre antun, wenn er an dieser Stelle als gleichberechtigt mit den Großen Planeten behandelt wird. Da wir jedoch wohl annehmen müssen, daß die Planetenbegleiter nicht aus den Gashüllen bzw. demselben Aufbaumaterial der Hauptkörper erst später als diese entstanden sind, sondern vielmehr zu der Auffassung gedrängt werden, daß sie sich etwa gleichzeitig und gewissermaßen gleichberechtigt bildeten — allerdings später von den Planeten eingefangen wurden —, so erscheint diese Darstellung wohl nicht unberechtigt.

Wie bereits bei Merkur erwähnt, steht diesem der Erdmond mit seinem wahren Durchmesser von 3473 km nicht viel nach; er erreicht ungefähr $^3/_{11}$ des Erddurchmessers. Sein Abstand vom Mittelpunkt der Erde beträgt $60^1/_4$ Erdhalbmesser bzw. 384400 km. Über die Bedeutung seiner geringen Masse, die nur $^1/_{81}$ der Erdmasse erreicht, haben wir uns schon in dem Sinne verbreitet, daß wir ihre Bedeutung für den Verlust seiner Gashülle hervorhoben. Dies wird noch besonders dadurch verständlich, daß die Temperatur der Mondoberfläche, wenn sie 14 Tage lang von der Sonne beschienen wurde, auf etwa 100° C steigt, womit also die Geschwindigkeiten der Gasmoleküle so groß werden, daß sie die kritische Grenzgeschwindigkeit leicht überschreiten können. Den Mangel einer Atmosphäre bestätigt auch die Beobachtung von Sternbedeckungen durch den Mond, da die Sterne am dunklen Rande so urplötzlich verlöschen, daß eine allmählich dämpfende Atmosphärenwirkung nicht in die Erscheinung tritt.

Der Mondlauf um die Erde erfordert unser besonderes Interesse, da hier mancherlei einer unachtsamen Verwechslung der Begriffe ausgesetzt ist. Zunächst haben wir uns den siderischen Mondumlauf zu merken, welcher dem Zeitraum entspricht, der zwischen zwei Zusammenkünften des Mondes mit demselben Stern verstreicht; der siderische Monat dauert 27.3 Tage. Davon ist zu unterscheiden der

Der Südpol des Mondes mit dem Strahlensystem des „Tycho".
Aufgenommen mit dem 40zölligen Refraktor der Yerkes-Sternwarte von Prof. S. W. Ritchey.

IBRARY
OF THE
UNI ERSITY OF ILLI O

Zeitraum von einem Neumond zum nächsten, also von einer Zusammenkunft mit der Sonne bis zur nächsten, der sogenannte synodische Monat. Dieser ist selbstverständlich länger als der siderische, weil die Erde ja während des Monats selbst ein gewisses Stück ihrer Bahn um die Sonne zurückgelegt hat; der synodische Monat umfaßt $29^1/_2$ Tage. Ferner sind zu beachten die Monate, die durch die Wiederkehr des Erdbegleiters von einer Erdnähe zur nächsten (der sogenannte anomalistische Monat) und von einem Durchgang durch den aufsteigenden Knoten bis zum nächsten verstreichen (Drachenmonat). Die Mondbahn ist ja nicht nur etwas eiförmig, jedoch nicht so stark wie die des Merkur, sondern auch gegen die Bahnebene der Erde um einen kleinen Winkel von 5^0 geneigt. Die Durchschnittslinie beider Bahnebenen heißt Knotenlinie. Der aufsteigende Durchstoßungspunkt wird als aufsteigender Knoten und der absteigende entsprechend bezeichnet.

Alle diese Eigenschaften der Mondbahn müssen bei seiner Beobachtung sorgfältig berücksichtigt werden. Hauptsächlich ruft die Abweichung seiner Bahnform vom Kreise eine kleine Schwankung der Lage des scheinbaren Mittelpunktes der Mondscheibe (Libration) hervor, die im Ganzen etwa unter Einschluß aller anderen Einflüsse 11^0 erreichen kann. Dabei dürfen wir nicht vergessen, daß der Mond sich etwa *nicht* um seine Achse *dreht* (weil er uns nur die eine Seite zukehrt), sondern daß nur gerade jetzt ein Zustand eingetreten ist, der seine Umdrehungsdauer gleich dem siderischen Umlauf gemacht hat. Dem war nicht immer so, und dieses Verhältnis wird auch nicht dauernd bestehen. Wir können an dieser Stelle auf die Untersuchungen von *G. H. Darwin* nicht näher eingehen, der dieser Frage eingehende Untersuchungen gewidmet hat. Er zeigte u. a., daß der Mondumlauf nicht länger gedauert haben kann als 29 Erdumdrehungen. In einer fernen Zukunft werden die Rückwirkungen der Flutberge auf unserer Erde, die von Sonne und Mond hervorgebracht werden, seine Bewegung in dem Sinne beeinflussen, daß er sich schließlich unserem Planeten immer mehr nähert, bis eine Katastrophe eintritt, wie wir sie unter Hinweis auf die von *Roche* berechnete Grenze schon bei dem Marsmond Phobos besprochen haben.

Die Oberflächengestaltung des Mondes läßt sich dank seinem geringen Abstande von uns mit bescheidenen optischen Hilfsmitteln in ihren großen Zügen studieren. Ja, das unbewaffnete Auge sagt uns schon, daß zwischen die im allgemeinen hellen Gebiete einige dunkle Flecke, die sogenannten *Meere*, verteilt sind. Diese Bezeichnung ist wohl auf den ersten bedeutenden Mondforscher *Hevelius* um die Mitte des 17. Jahrhunderts zurückzuführen, der mit bewunderungswürdiger Sorgfalt trotz seiner bescheidenen optischen Hilfsmittel schöne Mondkarten zustande brachte. Noch heute sind besonders für den Liebhaber der Sternforschung ältere Kartenwerke von *Mädler* und besonders *Lohrmann*, ferner die große Karte von Julius *Schmidt* und der schöne Pariser Mondatlas zu empfehlen (Tafel VIII, Abb. 27).

Die Mondtopographie unterscheidet vier Hauptgattungen von Oberflächengebilden auf unserem Begleiter, und zwar die großen Ebenen, Krater und Wallebenen, Berge und schließlich Rillen. Die großen Ebenen entsprechen hauptsächlich den erwähnten Mondmeeren, die vollkommen ausgetrocknet sind, die Krater haben auf unserer Erde in den Vulkanen keinerlei ernst zu nehmendes Gegenstück, die Berge erreichen fast dieselbe Höhe wie bei uns, obgleich der Mond ja nur etwa den vierten

Teil davon erwarten ließe. Zu den Rillen, die in der Mondmitte leicht zu beobachten sind, haben wir in den amerikanischen Cañons ein Gegenstück.

Die Form der Mondkrater bzw. Wallebenen weicht insofern von der irdischer Vulkane außerordentlich stark ab, als ihr Querschnitt bestenfalls mit dem eines flachen Tellers verglichen werden kann. Ein einziger „Krater" auf unserer Erde kann mit denen auf dem Monde in Parallele gestellt werden, der sogenannte Coon Butte im nördlichen Teil von Zentral-Arizona. Dieses geologisch hochinteressante Gebilde hat 1150 m Durchmesser, die Wallhöhe über der Umgebung beträgt 40 bis 50 m, die Kratertiefe 170 m, so daß also der Kraterboden beiläufig 125 m unter dem äußeren Erdreich liegt. Wir haben es hier durchaus mit einem „Aufsturzkrater" zu tun. In seiner Umgebung wurden seit 1866 zahlreiche Funde von Meteoreisen gemacht, darunter Stücke von mehr als 500 Kilo. In der durchbohrten Trümmerzone des Kraterbodens fanden sie sich bis zu 200 m Tiefe. Es ist unwahrscheinlich, daß dieser Meteoritenkrater der einzige auf der Erde ist. Nach A. Wegener sind ähnliche Meteorfälle durch das massenhafte Vorkommen vulkanischer Gläser, wie der Moldawite in Böhmen und Mähren sowie der Australite in Australien, im gleichen Sinne zu werten.

Diese Andeutungen haben den Leser darauf vorbereitet, daß unter den Erklärungen der Bildung der Mondoberfläche weder die Blasen-, noch die Gezeiten- oder die Vulkanhypothese wesentlich in Betracht kommen, sondern wohl ausschließlich die Aufsturzhypothese. Sie ist wohl zuerst von Gruithuisen 1828 ausgesprochen und seitdem oft von verschiedenen Gelehrten nachgeprüft worden. Ihre Vielseitigkeit und Anwendbarkeit hat sich aber erst in den letzten Jahren herausgestellt.

Veränderungen auf der Mondoberfläche sind früher auf Grund unzureichenden Materials nicht selten behauptet worden, ohne daß damit ein größerer Teil der Mondforscher hätte überzeugt werden können. Die Wahrnehmungen Pickerings auf Jamaika deuten allerdings im Bereich der Wallebene Platon und von Eimmart Veränderungen an, doch sind diese sehr unbedeutend und periodischer Natur. Wir dürfen nicht vergessen, daß wir kaum Anhaltspunkte für die Oberflächenverhältnisse des Mondes haben, da diese ja nach dem Polarisationswinkel zu urteilen, aus dunklem vulkanischen Glas besteht, den oben erwähnten Moldawiten entsprechend. In diese glasartige Masse dringen die Lichtstrahlen bis zu geringer Tiefe ein. Die Stellen, die uns besonders weiß erscheinen, sind durch Zertrümmerung oder Verwitterung zu erklären, wie wir sie durch Pulverisierung des Materials auch im Laboratorium nachahmen können. Wie sich dieser feine Staub unter dem heftigen Einfluß der Sonnenstrahlung beim Mondmittag verhalten wird, ist schwer zu beurteilen. Denkbar bleibt es jedenfalls, daß durch spurenweise vorhandene Gase ein Transport des Materials erfolgt, der uns als Veränderung der Oberfläche erscheint. Jedenfalls sind die Beobachtungsergebnisse einer Auffassung nicht günstig, daß etwa die ganze Mondoberfläche aus Eis bestände.

Über die Entstehung des Mondes haben wir oben schon einige Andeutungen gemacht und möchten hier nur noch darauf hinweisen, daß die Aufsturzhypothese sich in ganz natürlicher Weise an die oben mitgeteilte Annahme der Mondentstehung anschließt, wenn wir berücksichtigen, daß das Weltenbaumaterial im Sonnenreiche sich ja auch allmählich durch Zusammenstoß verdichtete.

XIII. Überbleibsel beim Weltenbau.

Unsere Wanderung durch das Sonnenreich hat uns zunächst mit der Sonne selbst, sowie mit den sonnen- und erdähnlichen Planeten bekannt gemacht. Wir haben dabei bereits durchblicken lassen, daß mancherlei Überbleibsel vom Weltenbau noch zu berücksichtigen sind, deren Beurteilung zum Teil eine offene Frage der gegenwärtigen Astronomie bedeutet. Wir wollen abschließend diesen Dingen nähertreten, und zwar in neutraler Form, da eine definitive Entscheidung noch nicht möglich ist.

a) Zodiakallicht.

Schon die Obelisken der alten Ägypter sollen uns möglicherweise auf die Himmelserscheinungen des Tierkreislichtes hinweisen, das in jener Gegend weit deutlicher als bei uns am Abendhimmel des Januar und Februar sowie am Morgenhimmel im Oktober und November zu beobachten ist. Auf Seereisen, besonders in den Tropen, wird seine Helligkeit als zum Teil merklich größer als die der Milchstraße hervorgehoben. Man kann es ungefähr als eine große Lichtellipse beschreiben, deren große Achse etwa 120^0 und deren kleine Achse etwa 16^0 lang ist. Im Mittelpunkt dieser Ellipse ist die Sonne anzunehmen. Damit ist jedoch nicht gesagt, daß auch tatsächlich die Sonne den Mittelpunkt der Zodiakalellipse auch räumlich einnehmen muß, wenn auch die Untersuchungen von Seeligers dies wahrscheinlich gemacht haben. Es bleibt auch denkbar, besonders da wir es mit reflektiertem Sonnenlichte zu tun haben, daß der Zodiakalring nicht um die Sonne, sondern um die Erde gelegt ist. Der Schweizer Astronom Dr. F. Schmid ist auf Grund seiner Dämmerungsbeobachtung unter ungewöhnlich günstigen Luftverhältnissen zu dieser letzgenannten Auffassung gekommen, die er in verschiedenen Abhandlungen verteidigt. Die Entscheidung dieser Fragen ist aus dem Grunde schwierig, weil die Zodiakalphänomen so lichtschwach ist. Sollte es aus Bestandteilen gebildet werden, die eine Fortsetzung der Erdatmosphäre bilden, so müßte eine Verschiebung aus einer mittleren Lage erkennbar sein. Diese ist hinsichtlich des lichtstärksten Streifens durch die Ekliptik oder vielleicht genauer durch die Ebene des Sonnenäquators, der wenige Grad gegen diese geneigt ist, angedeutet. Wie gesagt, sind diese Fragen noch ungeklärt. Es steht aber zu hoffen, daß sich mit Hilfe der Liebhaberastronomen eine Organisation schaffen läßt, die gleichzeitige, über die ganze Erde verteilte Beobachtungen zustande bringt. Die beiden Spitzen des Lichtkegels des Zodiakallichtes, von denen die bekanntere gegen Ende des Winters etwa bis zu den Plejaden reicht, sind durch eine sehr zarte Lichtbrücke miteinander verbunden, die in dem der Sonne gegenüberliegenden Punkte eine Verbreiterung und Steigerung ihrer Helligkeit aufweist, die im Ganzen als „Gegenschein" bezeichnet wird. Dieser ist weit lichtschwächer als die Lichtkegel am Abend- und Morgenhimmel und kann daher noch viel schwieriger beobachtet werden.

b) Intramerkurielle Planeten.

Eine Reihe älterer, nicht durchweg verbürgter Nachrichten über das Vorüberwandern dunkler Körper vor der Sonnenscheibe ließen im vorigen Jahrhundert besonders bei dem hervorragenden Astronomen Le Verrier die Auffassung entstehen,

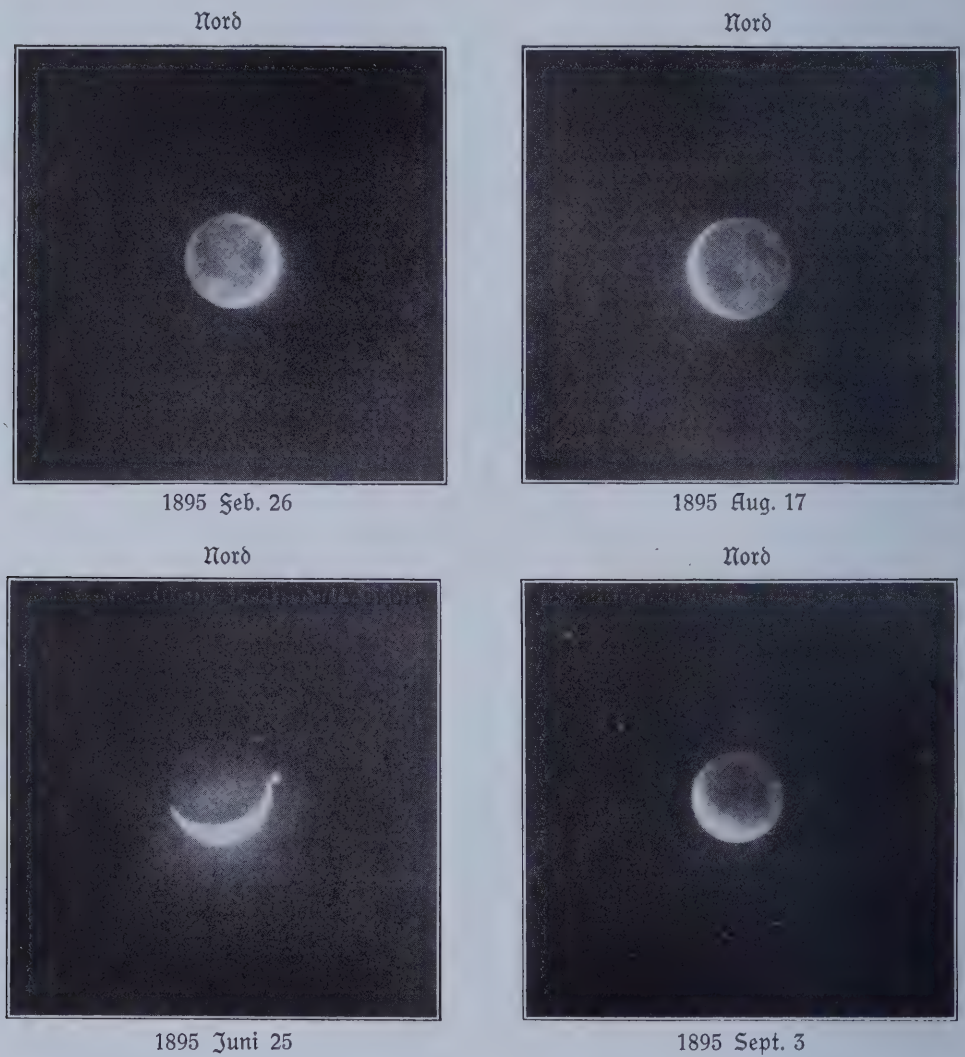


Abb. 28. Photographien des Mondes mit einem Porträtobjektiv.

Prof. E. E. Barnard zeigt hier den Erfolg solcher Aufnahmen mit bescheidenen Hilfsmitteln. Man erkennt im Bereich des aschgrauen Mondlichtes (zurückgestrahlter Erdschein!) die Konturen der sog. Meere. Die Aufnahme links unten zeigt das Wiederauftauchen der Venus nach ihrer Bedeckung durch den Mond; rechts unten bringt den Erdbegleiter während einer vollständigen Verfinsterung zur Darstellung. Bei der langen Dauer der Belichtung zogen wegen der Mondbewegung die Sterne kleine Striche.

daß innerhalb der Merkurbahn mindestens noch ein Wandelstern die Sonne umkreisen müßte. Leider haben sich die darauf begründeten Rechnungen nicht bestätigt, auch ein Ausbau der sogenannten Titiusschen Reihe führte zu keinem greifbaren Resultat, selbst die Vermutung, daß in ähnlicher Weise, wie wir das bei den Kleinen Planeten im Hinblick auf Jupiter sehen werden, solche Himmelskörper die Librationspunkte der Merkurbahn einnehmen müssen, hat nicht bestätigt werden können. Diese Vermutung besagte mit anderen Worten, daß diejenigen Punkte der beiläufig als Kreisform vorausgesetzten Merkurbahn untersucht werden sollten,

die mit Sonne und Merkur zusammen ein gleichseitiges Dreieck bilden würden. Nicht nur die sorgfältige Beobachtung und photographische Registrierung des Zustandes der Sonnenoberfläche spricht bisher gegen das Vorhandensein von Himmelskörpern größerer Masse an den betrachteten Stellen, auch die eifrigsten Nachforschungen während vollständiger Sonnenfinsternisse haben nichts davon entdecken lassen. Seeliger, dessen Anschauung über das Zodiakallicht wir eben streiften, schreibt ihm eine derartig große Gesamtmasse zu, daß damit die sogenannte säkulare Perihelbewegung des Merkur von 40″ erklärt werden kann. Es bleibt daher die Möglichkeit offen, daß diese fein verteilte Weltbaumaterie, wenn sie wirklich um die Sonne als Zentrum angeordnet ist, vielleicht in sehr fernen Zeiten sich allmählich verdichtet und dadurch zur Bildung intramerkurieller Planeten führt.

c) Die Kleinen Planeten.

Die Kleinen Planeten oder Planetoiden füllen die große Lücke aus, welche sich zwischen der Bahn des Mars und des Jupiter befindet und schon den großen Kepler zu der Hypothese führte, dort einen neuen Planeten anzunehmen. Chr. Wolf, Titius und Bode versuchten die damals bekannten Abstände der Wandelsterne von der Sonne durch eine Reihe darzustellen, die auch die Lücke zwischen Mars und Jupiter auszufüllen trachtete. Diese Reihe hat mathematisch den einfachen Aufbau $a = 0.4 + 0.3 \cdot 2^n$, wo n für Venus gleich Null ist und dann um volle Einheiten fortschreitet. Der für Merkur angenommene Wert 0.4 ist dann allerdings algebraisch unrichtig berechnet, was jedoch merkwürdigerweise kaum beachtet wird. Diese Titiussche Reihe stimmt auch noch bei Saturn und Uranus befriedigend, obwohl der Letztgenannte bei ihrer Aufstellung noch nicht bekannt war. Bei ihrer Glanzprobe versagte die Reihe allerdings vollständig, indem sie für Neptun die Distanz zu 39 statt zu 30 astronomischen Einheiten angab. Die mit der Neujahrsnacht des 19. Jahrhunderts beginnende Entdeckungsreihe Kleiner Planeten schien zunächst die Vermutung des früheren Vorhandenseins eines einzigen größeren, jedoch zertrümmerten Planeten zwischen Mars und Jupiter zu bestätigen, ja, man glaubte sogar, die Stelle der Zerstörung angeben zu können. Die heute auf weit über 1000 angeschwollene Zahl der Planetoiden hat diese Auffassung nicht bestätigt. Über die Kosmogonie der Kleinen Planeten kann man sich wohl kaum in anderem Sinne äußern, als daß es sich dabei um Gebilde handelt, die aus den Überbleibseln vom Weltenbau nicht eben größer entstehen konnten. Selbst die größten unter ihnen werden kaum mehr als 800 km Durchmesser haben, während die Mehrzahl viel kleiner ist, ja man sogar bei ernsthaft verfolgten Planeten auf Durchmesser von nur 5 km heruntergekommen ist. Ihre große Zahl stellt hinsichtlich der Ökonomie der wissenschaftlichen Arbeit ein schwieriges Problem, da die auf der ganzen Erde für solche Studien verfügbaren Hilfskräfte recht beschränkt sind. Das Tempo der Entdeckungen erreicht gegenwärtig etwa 120 Planeten in 5 Jahren, der keine entsprechende Steigerung der Verfolgungsmöglichkeit gegenübersteht, obwohl sich auch in neuer Zeit Liebhaberastronomen dieser kleinen Himmelskörper angenommen haben. Es ist daher eine Auswahl der interessantesten und wissenschaftlich wertvollsten Planetoiden erforderlich, um durch die Lösung von Sonderaufgaben die Astronomie vorwärts zu bringen.

Vom Standpunkt der Himmelsmechanik verdienen diejenigen Planetoiden besonderes Interesse, deren Bahnen stark exzentrisch sind, der Erde besonders nahe kommen oder erhebliche Neigung gegen die Ekliptik besitzen. Während die Bahnen der Großen Planeten nur wenige Grad gegen eine mittlere Ebene geneigt sind, kommen hier Neigungen bis über 40^0 vor. Besonders exzentrische Bahnen, bei denen die Formzahl sogar 0.5 merklich überschreitet, haben auch aus photometrischen Gründen Interesse. Mit besonderer Sorgfalt werden jedoch diejenigen Kleinen Planeten ausgewählt, deren Umlaufsdauer zu der des Jupiter in besonders einfachem Verhältnis steht. Auffällig ist besonders eine Lücke im Planetoidenreich, wo deren Umlaufszeit gerade der Hälfte der Umlaufszeit Jupiters entsprechen würde. Es existieren weitere Stellen, wo die Häufung augenscheinlich geringer ist, und die in ähnlicher Weise wie auch die Spalten im Saturnring auf störende Einflüsse zurückzuführen sind. Noch wichtiger als diese eben genannten Lücken sind eigentümliche, nach dem bisherigen Stande unserer Forschung allerdings spärliche Anhäufungen Kleiner Planeten an denjenigen Stellen der Jupiterbahn, die mit diesem Planeten und der Sonne annähernd ein gleichseitiges Dreieck bilden. Diese Planetoiden haben dieselbe Umlaufsdauer wie Jupiter, führen jedoch, wenn wir ihre Bewegung auf die Verbindungslinie Sonne—Jupiter beziehen, gewisse Pendelbewegungen um eine mittlere Lage aus. Ob außerhalb der Jupiterbahn noch viele Kleine Planeten verstreut sind, wissen wir nicht. Eine große Wahrscheinlichkeit hat diese Vermutung kaum; die geringe Lichtstärke der Himmelskörper in jener Ferne erschwert solche Beobachtungen in hohem Maße. Bisher hat sich nur der von Baade entdeckte Planetoid 944, dessen Formzahl 0.65 erreicht, bis zur Saturnbahn (Apheldistanz 9.4) hinausgewagt.

Im Gegensatz zu diesen weit entfernten Mitgliedern des Planetoidenringes haben die seiner inneren Begrenzung großes Interesse für die messende Astronomie, die sich mit der Bestimmung der Sonnenparallaxe beschäftigt, weil diese Planetoiden uns näher kommen als der Mars. Bei dem Kleinen Planeten Eros ist sogar die mittlere Entfernung mit 1.46 Erdbahnhalbmesser etwas kleiner als die des Mars mit 1.52. Eros kann der Erde im günstigsten Falle (im Jahre 1931) auf 22 Millionen Kilometer nahekommen, während es Mars nur bis zu 55 Millionen Kilometer bringt. Auch der Kleine Planet Albert vermag sich der Erde erheblich, nämlich bis auf 28 Millionen Kilometer, zu nähern. In letzter Zeit sind noch zwei ähnliche Planeten entdeckt worden, die jedoch die Beträge der von Witt bzw. Palisa aufgefundenen Eros bzw. Albert nicht erreichen.

Schließlich lassen eine Reihe von Planetoiden, meist allerdings nur vorübergehend, Helligkeitsschwankungen von der Dauer einiger Stunden feststellen, die sie für den Astrophysiker aus der ungeheueren Menge der uninteressanten Kleinen Planeten herausheben.

d) Kometen.

Unter den Kleinen Planeten erwähnten wir einige wegen ihrer ungewöhnlich exzentrischen Bahn, deren Formenzahl bis zu 0.65 geht. Dieser Umstand ist im Hinblick auf die Verwandtschaft zwischen Planetoiden und Kometen von gewisser Bedeutung, da man die exzentrische Bahnform der Haarsterne als

eines ihrer wesentlichen Kennzeichen ansieht. Die genannten Exzentrizitäten übertreffen bereits die der wiederkehrenden Kometen Holmes und des sogenannten ersten Tempelschen. Der Holmessche Komet hat lange den Eindruck gemacht, als ob er durch den Zusammenstoß Kleiner Planeten entstanden sei, eine Hypothese, der man aber späterhin keine besondere Bedeutung mehr beilegte. Während es sich bei Formzahlen von über 0.5 bei den Kleinen Planeten gewissermaßen um eine obere Grenze handelt, sind derartige Exzentrizitäten bei Kometen als Kleinstwerte anzusehen. In den weitaus meisten Fällen haben wir es mit Exzentrizitäten zu tun, die so wenig von der Einheit abweichen, daß man den Unterschied praktisch nicht berechnen kann. Mit anderen Worten bedeutet dies, daß der durch die Beobachtungen erreichte Abschnitt der tatsächlichen Bahn so kurz ist, daß man ihn durch den Sonderfall, der die beiden Kegelschnittgruppen der Ellipse und Hyperbel verbindet, durch die Parabel, am einfachsten darstellen kann. Damit ist jedoch noch nicht gesagt, daß ihre Umlaufszeit unendlich groß sei. Wir sind nur außerstande ihre Dauer anzugeben, da sie meist nach vielen Jahrtausenden zu schätzen ist, so daß eine Wiederbeobachtung gerade bei kleinen Objekten nicht in Betracht kommt. Nichtsdestoweniger hat aber Strømgren zeigen können, daß auch bei zunächst hyperbolisch erscheinenden Bahnen bei einer genügend weit zurückgeführten Störungsrechnung doch noch der elliptische Charakter der Bahn wieder hergestellt werden kann. Daraus ist zu entnehmen, daß die bisher von uns beobachteten Kometen als Mitglieder unseres Sonnenreiches anzusehen sind, wenn sie sich auch bis zu dessen äußersten Grenzen entfernen (Abb. 29 und 30).

Gerade der Lage der sonnenfernsten Punkte, der sogenannten Aphelien, wiederkehrender Kometen verdanken wir einige Andeutungen über die äußersten Grenzen unseres Sonnenreiches. Solche Aphelien zeigen nicht nur gewisse Anhäufungen in Abständen von 20 und 30 astronomischen Einheiten, sondern auch weiter in 50 astronomischen Einheiten, wo man den transneptunischen Planeten vermutet, der im Jahre ungefähr 1^0 am Himmel zurücklegt. Bisher ist wiederholt photographisch nach ihm gesucht worden. Der Mißerfolg auf diesem Gebiet ist nicht gerade angetan, unsere Hoffnung zu stärken, daß etwa ein weiterer Wandelstern mit etwa 1400 Jahren Umlaufszeit, für dessen Vorhandensein gewisse Andeutungen vorliegen, unseren Hilfsmitteln überhaupt zugängig sein möchte. Die Beziehung zwischen der Lage der sonnenfernsten Punkte der Kometenbahnen zu gewissen Wandelsternbahnen erklärt sich in einfacher Weise durch die Überlegung, daß in jener Gegend die Sonnenanziehung verhältnismäßig gering ist, so daß die Masse der betreffenden Planeten schon starken Einfluß auf etwa vorbeiwandernde Kometen haben kann. Am augenfälligsten ist dieses bei den zahlreichen Kometen von kurzer Umlaufsdauer, die Jupiter zu einer Kometenfamilie, wie man sagt, zusammengefaßt hat. Man kann diesen Vorgang buchstäblich nicht anders als Einfangen bezeichnen. Auch das Gegenteil kommt vor, indem kurze Umlaufszeiten durch störende Einflüsse wieder verlängert werden können. Derartige Störungsrechnungen sind in besonderen Fällen recht schwierig, wenn nämlich der betreffende Komet etwa innerhalb des Trabantenreiches des Jupiter an diesem vorbeizieht.

Unter den Kometen beanspruchen zunächst diejenigen unser besonderes Interesse, die sich durch überragende Größe, durch besondere Annäherung an die Sonne

oder an die Erde, durch physikalische Eigentümlichkeiten, wie Kernteilung, auszeichnen. Der physikalische Aufbau der Kometen scheint verhältnismäßig einfach zu sein. Bei noch sonnenfernen, meist nur im Fernrohr sichtbaren Kometen hat man zunächst ein zartes Nebelwölkchen vor sich, bei dem man schon von Glück sagen kann, wenn es überhaupt einen sternartigen Kern aufweist. Nähert sich der Komet der Sonne, so machen sich auf der dieser zugekehrten Seite des Kernes Ausströmungen bemerkbar, die sich nach einer verhältnismäßig kurzen Strecke wie bei dem Gipfelpunkt einer Fontäne umbiegen. Es findet geradezu die Bildung einer Haube, gelegentlich sogar in mehreren Schichten übereinander, statt. Bei diesen

Nord

Abb. 29. Der von Swift entdeckte Komet 1892 I am 4. April 1892.
Die Sterne haben während der einstündigen Dauer der Aufnahme durch Prof. E. E. Barnard kurze Striche gezogen. Die verschiedenen Schweifsträhnen des Kometen sind leicht bis an den Bildrand zu verfolgen.

mitunter heftigen und ruckweise erfolgenden Ausströmungen treten auch Rückwirkungen auf den Kern ein, die sich als Pendelungen bzw. Umdrehungserscheinungen im Kometenkopf bemerkbar machen. Die Farbe der meisten Kometen ist weiß, Prof. Graff betont jedoch, daß gleichmäßig gekrümmte, strukturlose Kometen mit großem, planetenartigen Kern auffallend gelb, dagegen Kometen mit wellenförmigen, an Einzelheiten reichen Schweifen oft intensiv blau erscheinen. Die Farbe der Kometen wird durch ihr Spektrum in dem Sinne erklärt, daß dieses dem sogenannten Swanspektrum ähnlich ist, das man früher wesentlich dem Kohlenwasserstoff zuschrieb, während man es heute allein dem Kohlenmonoxyd zuteilt. Selbstverständlich entsteht dieses unter außerordentlich niedrigem Druck, und auch

nur unter diesen Bedingungen kann es im Laboratorium in Geißlerschen Röhren aus dem Material von Meteoren reproduziert werden. Zu dem Kohlenmonoxyd kommt bei großen Kometen auch glühender Natriumdampf und in besonderen Fällen, wie bei dem großen Septemberkometen 1882, der sich der Sonne bis auf eine halbe Million Kilometer näherte, sogar Eisen. Die Strahlung der Sonne in diesem geringen Abstand genügt vollständig, um dieses zum Verdampfen zu bringen.

Abb. 30. Schweifbewegung des von Brooks entdeckten Kometen 1893 IV. Prof. E. E. Barnard hat hier zwei Aufnahmen von 6. und 7. Nov. zusammenkopiert. Die Richtung des Schweifes hat sich dabei von 6. (stark nach Norden gekrümmt) zum 7. (gerade) erheblich verändert.

Die eben erwähnten Vorgänge werden durch die Kometentheorien, die im Anschluß an Olbers und Bessel von Zöllner und Bredichin, von dem Letztgenannten in besonders geistvoller und eingehender Weise, entwickelt wurden, durch eine Repulsivkraft der Sonne erklärt, die je nach der Größe der Teilchen ein verschiedenes Vielfaches der Anziehungskraft ist. Die Theorie des Lichtdruckes läßt uns auch die Größe der einzelnen Teilchen, besonders nach den Untersuchungen von Schwarzschild, genauer berechnen. Es ergeben sich im wesentlichen drei Typen von Schweifen, von denen bei dem ersten die abgestoßenen Teilchen mit sehr großer Geschwindigkeit über den Kometenkopf zurückgetrieben werden und einen verhältnismäßig lichtschwachen, dünnen, geraden Schweif bilden. Beim zweiten Typus

übertrifft die abstoßende Kraft die anziehende ein wenig. Die abgestoßenen Teilchen beschreiben daher bogenförmige Bahnen, die von der Richtung Sonne—Komet erheblich abgelenkt sind. Der zweite Typus liefert breite, verhältnismäßig kurze, aber helle Schweife. Beim dritten Typus ist schließlich die abstoßende Kraft kleiner als die Anziehungskraft. Die entstehenden Schweife sind schwach und kurz und finden sich von der Verbindungslinie Sonne—Komet weit nach der Seite hin abgelenkt, von welcher der Komet kommt.

Wenn diese Bredichinsche Theorie auch eine gute Zusammenfassung der wichtigsten Vorgänge ermöglicht, so klärt sie doch noch nicht alle Fragen auf, und es bleiben noch einige Probleme wahrscheinlich durch Vergleich mit elektrischen Entladungen im Hochvakuum zu klären.

Es mangelt uns an dieser Stelle an Raum, interessanter Sonderfragen, wie die des Auftretens von Kometengruppen, der Bedeutung einiger besonders lehrreicher Schweifsterne, wie des Halleyschen, des Donatischen, des Enckeschen Kometen mit einer kurzen Umlaufszeit von nur $3^1/_3$ Jahren u. a. m. zu gedenken. Wir weisen abschließend darauf hin, daß einige Kometenbahnen Schnittpunkte mit der Erdbahn haben, und daß unser Planet auch tatsächlich durch den Schweif eines Kometen und wiederholt durch das Material der Schweifsterne, die es längs ihrer Bahn verteilt haben, hindurchgegangen ist. Diese Angelegenheit gehört jedoch schon nicht mehr zu dem Fragenkomplex der Kometen, sondern wird bei der engen Verwandtschaft dieser Himmelskörper bei den Sternschnuppen zu behandeln sein (Tafel IX).

e) Meteore.

Unter dem Begriff Meteore werden recht verschiedenartige Himmelskörper zusammengefaßt, deren gemeinsame Eigenschaft ihr Aufleuchten in der Erdatmosphäre ist. Nicht nur das Altertum hat angenommen, daß es sich hierbei um Feuererscheinungen handele, die sich überhaupt erst in der Lufthülle unseres Planeten bilden, sondern auch die Neuzeit hat bis zum Ende des 18. Jahrhunderts fortschreiten müssen, um den wahren Charakter der Meteore zu ergründen. Noch bei der Beurteilung eines am 24. Juli 1790 in der Gascogne gefallenen Meteores widersetzte sich die Pariser Akademie der Auffassung eines außerirdischen Ursprunges der Feuerkugeln, bis er 1794 von Chladni zweifelsfrei sichergestellt wurde.

Der Unterschied zwischen Sternschnuppen und Feuerkugeln bzw. Meteoren im engeren Sinne ist weniger durch den augenfälligen Größenunterschied gegeben, da nämlich scheinbar sehr große Feuerkugeln sich aus Dutzenden von kleinen Körperchen zusammengesetzt erwiesen haben, als vielmehr durch die Bahngeschwindigkeit. Bei den Sternschnuppen zeigte sich, soweit die hier schwierige Geschwindigkeitsbestimmung ausgeführt werden konnte, ein Betrag, der sich noch mit der Auffassung vereinigen läßt, daß wir es hier mit Gliedern unseres Sonnenreiches zu tun haben. Bei Feuerkugeln weist dagegen die Geschwindigkeit unzweifelhaft auf einen hyperbolischen Charakter der Bahn hin, was nach den Gesetzen der Himmelsmechanik anzeigt, daß Feuerkugeln interstellaren Ursprungs, bzw. Boten aus anderen Sonnenreichen sind.

Solange die Himmelsbeobachtung noch vom Sternfreund als jugendliche Spielerei betrieben wird, haben die Sternschnuppen in scheinbar „zufälliger" Verteilung gewiß besondere Anziehungskraft. Vertieft sich diese Spielerei zu wissenschaftlichem Interesse, so stellt sich heraus, daß die durchschnittliche stündliche Häufigkeit der Sternschnuppen von etwa 4—6 Stück erheblichen Schwankungen unterworfen ist. Es zeigt sich nicht nur, daß im Osten mehr Sternschnuppen auftauchen als im Westen, sondern man beobachtet auch eine Zunahme ihrer Häufigkeit bis etwa gegen 3 Uhr morgens. Durch Zusammenfassung von Beobachtungen aus einigen Zehner Kilometer Abstand ergibt sich durch einfache Berechnung, daß die Höhe ihres Aufleuchtens etwa 110—150 km beträgt, während ihr Erlöschen in einer Höhe von beiläufig 90 km erfolgt. Wegen ihrer hohen Geschwindigkeit ist nur eine geringe Masse zur Erzielung einer erheblichen Leuchtwirkung wie etwa der der Venus anzunehmen. Auch helle Sternschnuppen dürften nur wenige Gramm wiegen und verbrennen daher bei ihrem Aufleuchten vollständig. In besonderen Fällen gelingt es, einen Farbenwechsel auf ihrer leuchtenden Bahn zu erkennen, der im allgemeinen von Weiß nach Rot geht, was der gegenwärtigen Anschauung über den Aufbau der Erdatmosphäre insofern entspricht, als ja in 90 km Höhe die feinverteilte Materie schwebt, der wir auch das Auftreten der Nordlichter mit zu verdanken haben.

Eine Statistik der Sternschnuppenhäufigkeit über obige Andeutungen hinaus führt zu der wertvollen Feststellung, daß an bestimmten Tagen des Jahres ein außergewöhnlich reicher Fall eintritt; besonders um den Laurentiustag im August. Es zeigt sich weiter, daß die Sternschnuppen dann aus einem bestimmten Punkte auszustrahlen pflegen, dem sogenannten Radianten, der bei den Auguststernschnuppen im Perseus liegt. Während dieser Sternschnuppenstrom alle Jahre ungefähr gleichmäßig reich auftritt, beobachtet man bei den sogenannten Leoniden, die Mitte November aufzutreten pflegen, erhebliche Schwankungen in einer ungefähr 33jährigen Periode. Auf Grund derselben war es möglich, für das Jahr 1866 einen Sternschnuppenfall vorauszusagen, der auch mit bewunderungswürdiger Großartigkeit eintraf. Eine genauere Erforschung des Sternschnuppenproblems führte besonders Schiaparelli zur Aufdeckung eines engen Zusammenhanges zwischen Kometen und Sternschnuppen. Er konnte zeigen, daß der Laurentiusstrom in derselben Bahn einhergeht wie der Komet 1862 III. Für die Leoniden fand sich entsprechend der Komet 1866 I. Auch für den im April fließenden Sternschnuppenstrom aus der Leier konnte der Komet 1861 I nachgewiesen werden. Nachdem diese Beziehungen aufgedeckt waren, konnte man solche Meteorwolken, die längs der Kometenbahn verteilt sind, auch nach den Gesetzen der Störungstheorie genauer untersuchen und dabei feststellen, daß ihre Bahnen in entsprechender Weise umgeformt werden, wie wir das bei den Kometen gesehen haben. Diesem Umstande ist es auch zuzuschreiben, daß der Leonidenstrom, der besonders 1799 Sternschnuppen wie Schneeflocken so dicht geliefert hat, uns 1899 enttäuschte, daß weiter der Komet Biela, der die Andromediden Ende November hervorrief, uns jetzt nicht mehr mit seinem Gratisfeuerwerk erfreut. Bei dem Halleyschen Kometen haben wir anscheinend den Sonderfall, daß derselbe zweimal im Jahre Sternschnuppenradianten speist, die beide allerdings nicht besonders kräftig sind. Es handelt sich um die

Aquariden im Mai und wahrscheinlich die Orioniden im Oktober. Bei den Aquariden machte sich, nachdem die Erde am Mittag des 21. Mai 1910 kurze Zeit seinen Schweif, und zwar den südlichen Teil des Hauptschweifes vom zweiten Typus passiert hatte, eine Steigerung der Häufigkeit der Sternschnuppen bemerkbar.

Wenn wir hiernach auch einen gewiß nicht unbedeutenden Bestandteil der die Erdatmosphäre erreichenden Sternschnuppen mit wiederkehrenden Kometen in Verbindung bringen dürfen, so ist damit das Rätsel ihrer Entstehung noch nicht vollkommen gelöst. Außer den Meteorwolken, die wir als Kometen kennen, scheint es noch viele andere zu geben, über deren Wesen und Bahn wir noch nichts Näheres wissen.

Bei den Feuerkugeln haben wir dem äußeren Augenschein gemäß ein ähnliches Phänomen wie bei den Sternschnuppen, wenn auch unvergleichlich viel großartiger vor uns. Während die Sternschnuppen wohl nur wenige Gramm wiegen mögen, sind Feuerkugeln im Gesamtgewicht von vielen Tonnen bekannt. Dem manchmal kaum erkennbaren Schweif der Sternschnuppen steht bei den Meteoren eine leuchtende Spur von beiläufig 100 km Länge gegenüber. Bei ihnen ist der Farbenwechsel in der Folge Weiß—Grün—Rot meist deutlicher als bei den Sternschnuppen zu verfolgen. Ihre riesigen Dimensionen, die sich auch bei vorsichtiger Berechnung zu 1—2 km Durchmesser ergeben können, sind unter Berücksichtigung des Umstandes zu erklären, daß wir es hier mit Schwärmen zu tun haben, die aus vielen Dutzenden von kleinen Körperchen bestehen, die selbst von einer großen glühenden Gaswolke umhüllt sind. Besteht das Meteor aus einem Einzelkörper, so beobachtet man meist nach seinem Eintreten in die Lufthülle der Erdatmosphäre ein enormes Ansteigen der Helligkeit, das selbst bei Tageslicht sehr auffällig sein kann, und schließlich an dem sogenannten Hemmungspunkt der Bahn einen plötzlichen Stillstand, der mit dem Zerplatzen der Feuerkugel zusammenfällt. Vom Hemmungspunkt aus fallen Trümmerstücke ungefähr nach den Gesetzen des freien Falles herab und bilden ein Streufeld von gelegentlich über 100000 Steinen (vgl. S. 97).

In letzter Zeit ist es möglich gewesen, ähnlich den Sternschnuppenradianten auch solche für Feuerkugelströme ausfindig zu machen, von denen der eine aus der Richtung der Plejaden herkommt, der in 65 Jahren ein Dutzend Feuerkugeln lieferte, während der bei 109 Virginis (nahe der östlichen Grenze des Sternbildes der Jungfrau) noch viel mehr Meteore geliefert hat. Bei diesen Feuerkugelströmen handelt es sich nicht mehr um eine Angelegenheit des Sonnensystems, sondern um eine Grenzfrage allgemeiner Art, die allerdings hinsichtlich der Natur und des Ursprunges der Ströme noch nicht geklärt werden konnte.

XIV. Die Ausbreitung des Lebens durch das Weltall.

Die Frage nach der Ausbreitung von Leben durch das Universum gehört nur noch in beschränktem Umfange in das Forschungsbereich des Astronomen. Nichtsdestoweniger kann der Biologe seine vorbereitenden Untersuchungen nicht entbehren, weswegen wir diesen Gedanken noch einige abschließende Ausführungen widmen wollen.

Man hat den Umstand, daß die Trümmer von Feuerkugeln auch Kohlenstoff enthielten, für diese Idee auszubeuten versucht, ohne jedoch zu beachten, daß es sich hierbei um ein durchaus anorganisches Produkt handelte. Bei der Erwägung des Transportes lebender Keime durch Meteore sind jedenfalls die hohen Temperaturen nicht zu unterschätzen, die beim Eintreten der Feuerkugeln in die Atmosphären der Himmelskörper erreicht werden. Gewiß ist schon der Fall beobachtet worden, es war am 7. Juli 1892, daß eine Feuerkugel die Erdatmosphäre durchflog ohne niederzufallen — diese hätte also eine Botschaft von der Erde an einen anderen Himmelskörper überbringen können — aber ihre Oberflächentemperatur von vielleicht 1000° hätte keinerlei organischem Leben den Aufenthalt gestattet. Diese besonders von Flammarion erwogene Möglichkeit der Lebensausbreitung dürfen wir daher wohl fast vollständig ablehnen.

Es kommt jedoch noch eine andere Möglichkeit in Betracht und das ist die des Keimtransportes mit Hilfe des Lichtdruckes, dessen Bedeutung wir schon bei der Entstehung der Kometenschweife kennen lernten. An dieser Stelle kann die von Arrhenius im Anschluß an die Ideen des deutschen Arztes E. H. Richter besonders liebevoll behandelte Vorstellung von der Panspermie nicht eingehend verfolgt werden. Es mag der Hinweis darauf genügen, daß es sich hauptsächlich um Teilchen handelt, deren Durchmesser nur wenige Zehntel eines Mikrons, d. h. eines Tausendstel Millimeters, erreichen dürfen, wenn sie von den Lichtwellen fortgetrieben werden sollen. Die Erforschung so kleiner Bakterien, denn nur um solche kann es sich hier praktisch handeln, ist schon aus dem Grunde selbstverständlich schwierig, weil wir ja bei ihrer Betrachtung im Mikroskop selbst bis in die Größenordnung der Lichtwellen herabsteigen müssen. Nur durch besondere Kunstgriffe im Ultramikroskop können wir hier noch Anhaltspunkte gewinnen. Es steht auch in Frage, wie man ein so niedrig organisiertes Leben in der Größenordnung der Lichtwellenlängen, wo wir schon dem Bereich der größten Moleküle nahekommen, mindestens den Vorgängen, die wir als Brownsche Molekularbewegung kennen, überhaupt auffassen soll.

Nimmt man einmal das Vorhandensein derartig kleiner Keime an, so haben Versuche bei Temperaturen in großer Nähe des absoluten Nullpunktes von — 273°, die monatelang fortgesetzt wurden, bewiesen, daß diese tiefen Temperaturen organisches Leben nicht definitiv zum Erlöschen bringen, sondern nur außerordentlich verlangsamen. Indem Arrhenius eine verhältnismäßige Beeinflussung der Geschwindigkeit des Lebensablaufes entsprechend der absoluten Temperatur annimmt, kann er formal mathematisch die Lebensdauer dieser kleinsten Keime auf Tausende von Jahren ausdehnen, mithin auf den Zeitraum, den sie unter dem Einfluß des Lichtdruckes brauchen würden, um von uns zum nächsten Sonnenreich zu gelangen.

Auch dem Einwand der zerstörenden Einwirkung des Sonnenlichtes konnte mit dem Hinweis darauf begegnet werden, daß diese Zerstörung nur dann erfolgt, wenn eine Oxydation in der umgebenden Luft, eine Verbrennung, möglich ist. Selbst wenn man den Weltäther als ein Gas, Wasserstoff, von außerordentlich geringer Dichte voraussetzt, liegt keine Veranlassung zu der Möglichkeit vor, daß hier etwa eine Verbrennung stattfinden könnte. Damit wären die beiden wichtigsten Einwände zwar beseitigt.

Nach den serologischen Untersuchungen von Mez in Königsberg über den Stammbaum des Pflanzenreiches wissen wir, daß von den niedrigsten Bakterien aus sich über die Kugelalgen sowohl Kugeltierchen, wie auch Kieselalgen, Geißeltierchen und die Urtiere im eigentlichen Sinne entwickeln konnten, in welcher Reihe dann schließlich der Mensch einen gewissen Höhepunkt bedeuten soll. Damit wäre auch die Möglichkeit gegeben, daß aus den einmal durch den Weltraum transportierten Bakterien endlich — Menschen entstehen können.

Aber — bei der Durchführung dieses Gedankenexperiments stoßen wir schließlich auf eine erhebliche Schwierigkeit. In demselben Sinne, wie beispielsweise unsere Sonne imstande sein soll, jene kleinsten Keime durch den Lichtdruck von uns fortzutreiben, ist ja auch die eben ins Auge gefaßte Nachbarsonne mit der Eigenschaft des Strahlungsdruckes ausgestattet, so daß man die Befürchtung nicht los wird, daß die Teilchen, die ihr von uns zugedacht sind, sie überhaupt nicht erreichen, weil sie sie nolens — volens wieder von sich forttreibt. Man muß schon zu dem Gedanken des Zusammenklebens solcher Bakterien seine Zuflucht nehmen, um Gebilde entstehen zu lassen, die groß genug sind, daß ihnen der Lichtdruck nichts mehr anzuhaben vermag. Bei diesen zusammengeballten Teilchen wäre weiter zu fordern, daß sie auf einem im geeigneten Reifezustand befindlichen Wandelstern niederfallen, der dann ihre weitere Kultivierung übernehmen könnte. Bei dem Hinabwandern durch seine Lufthülle würden sich diese Bakterien jedoch der Gefahr der Oxydation erneut aussetzen, der sie mit genauer Not etwa beim Verlassen unseres Planeten entgangen sind. Um alle diese Bedingungen zu erfüllen, müßte die Anzahl der in den Weltraum hinausgetriebenen Keime eine so große werden, daß man für ihr Vorhandensein gewisse Anhaltspunkte finden müßte.

Im ganzen genommen wird man hiernach kaum umhin können, die Lehre von der Panspermie auch in ihrer modernen Einkleidung als unwesentlich zur Erklärung der Fortpflanzung des Lebens im Weltenraum anzusehen. Das Rätsel der Entstehung des Lebens, vielleicht das größte, das Weltall und Menschheit verbindet, wird auf diese Weise nur verschoben — aber nicht seiner Lösung nähergebracht. Diese vermuten wir auf dem Grenzgebiet des Anorganischen zum Organischen, wo nach den Anschauungen der Vitalisten, deren Lehre heute neue Anhänger gewinnt, das Eingreifen höherer Potenzen anzunehmen ist, die man aber nicht mehr vom materialistischen Standpunkt aus beurteilen kann.

* * *

Zweiter Teil

Die Erde als Himmelskörper

Einführung in die Geophysik

Von Dr. C. W. Schmidt

Gliederung des zweiten Teiles

Seite

I. Die Gestalt der Erde 89
II. Masse und Dichte der Erde 93
III. Sternschnuppen und Meteoriten 96
IV. Die Wärme des Erdkörpers 98

I. Die Gestalt der Erde.

Einer rein auf Beobachtung beruhenden Weltanschauung, wie sie uns etwa in den Gesängen Homers entgegentritt, mußte die Erde als runde Scheibe beschränkten Umfangs erscheinen, die, wagerecht schwebend, von den Fluten des Ozeans umströmt und von dem lichten Dach der Himmelskuppel überwölbt wurde. Lange Zeit hindurch war diese sinnfällige Vorstellung im Altertum herrschend, und auch heute noch sieht das naive Bewußtsein des Kindes die Erdgestalt nicht anders.

Allerdings führte schon Homer das Himmelsgewölbe jenseits der Erdscheibe weiter, so daß der Himmel zu einer gewaltigen Kugel wurde, in deren Mitte die Erdfläche schweben sollte. Einen großen Schritt vorwärts in der Erkenntnis der wahren Erdgestalt versuchte der große griechische Denker Anaximander zu tun, denn er nahm für die Erde bereits eine flach gewölbte Form an; Ober- und Unterseite galten ihm schon als Kugelabschnitte.

Beide Theorien haben sich lange Zeit hindurch befehdet. Thales von Milet, Anaximenes und Anaxagoras, der Freund des Perikles, ferner Leukippos und sein Schüler Demokrit waren gewichtige Anhänger der Anschauung von der Scheibengestalt der Erde; sie konnten indessen nicht verhindern, daß die Theorie von der Kugelgestalt sich doch allmählich siegreich durchsetzte. Dachte man sich nämlich die Kugelsegmente der Erdoberflächen fortgesetzt und brachte man auch das Mittelstück damit in Übereinstimmung, so mußte man logischerweise zur Kugelform der Erde gelangen. Von der pythagoreischen Schule ist diese Theorie denn auch eindringlich vertreten worden, und Aristoteles formulierte bereits jene Beweise, die auch heute noch für die Kugelform der Erde angeführt werden.

Bis zum Beginn der Neuzeit hielt man an der Annahme einer mathematischen Kugelgestalt der Erde — soweit nicht Gebirge und Meerestiefen geringfügige Abweichungen bedingten — fest. Erst nach der Einführung genauer Meßmethoden konnte man erkennen, daß die wirkliche Gestalt der Erde nicht unwesentlich von der Kugelform abweicht.

Bekanntlich besitzen wir im Pendel ein einfaches Instrument zur Messung von Zeiträumen. Die Schwingungsdauer eines Pendels, das ist die Zeit, welche zum Zurücklegen des zwischen den Umkehrungspunkten liegenden Kreisbogens benötigt wird, ist unabhängig von der Schwingungsweite, also von der Länge dieses Kreisbogens, sondern nur abhängig von der Länge des Pendels. Und

zwar verdoppelt sie sich, wenn das Pendel um das Vierfache verlängert wird. Die Pendellängen verhalten sich also wie die Quadrate der Schwingungszeiten. Unter einem Sekundenpendel versteht man nun ein Pendel, das zu einer Schwingung gerade eine Zeitsekunde braucht; man berechnete schon im 17. Jahrhundert seine Länge auf 994 mm.

Da stellte der französische Astronom Jean Richer, der im Jahre 1672 zu Vermessungszwecken nach Cayenne an der NO-Küste Südamerikas entsandt worden war, die zunächst befremdende Tatsache fest, daß sein Sekundenpendel hier, in der Nähe des Äquators, langsamere Schwingungen als in der Heimat ausführte, so daß erst eine Verkürzung um $2^2/_3$ mm es wieder zum Sekundenpendel machte. Damit war der Beweis für eine geringere Schwerkraft gegeben, die am Äquator nicht so schnelle Bewegungen auszulösen vermochte wie in der Breite von Paris. Allerdings durfte daraus zunächst noch nicht auf eine polwärts zunehmende Abplattung geschlossen werden, da ja die am Äquator vorhandene größte Fliehkraft der um ihre Achse rotierenden Erde der in der Richtung des Erdmittelpunkts wirkenden Schwerkraft direkt entgegenwirkt, während sie in höheren Breiten nur in geringerem Grade wirksam ist. Die klassischen Physiker Huyghens (1629—95) und Newton (1643—1727) stellten aber durch genaue Berechnungen fest, daß die Schwerkraft nach den Polen zu rascher abnehme, als sich aus der Verminderung der Fliehkraft ergebe, und kamen zu dem Schluß, daß die Erde an den Polen abgeplattet, am Äquator aber wulstförmig aufgetrieben sein müsse.

Newton und Huyghens hatten also mathematisch-physikalisch nachgewiesen, daß die Gestalt der Erde nicht eine Kugel sei, sondern ein sog. Rotationsellipsoid mit kürzerer Polarachse. Newton suchte dies aus dem früher schmelzflüssigen Zustand des Erdkörpers zu erklären, doch haben Untersuchungen der letzten Zeit (Lord Kelvin) erwiesen, daß die durch die Achsendrehung erzielte Fliehkraft auf der Erde ausreichen würde, um den Betrag der Abplattung selbst bei einer aus Gußstahl bestehenden Kugel zu erzielen. Über die Größe der Abplattung kamen Newton und Huyghens allerdings zu keiner Übereinstimmung, da sie von verschiedenen Voraussetzungen hinsichtlich der Dichte des Erdinnern ausgingen; der erstere errechnete das Verhältnis der Abplattung zum Erdradius zu 1:230, Huyghens zu 1:578.

Um den wahren Betrag zu finden, mußte man zur geometrischen Methode, zur wirklichen Messung der Erdoberfläche übergehen.

Bei der grundlegenden Bedeutung der Gradmessungen möge ihr Prinzip an der schematischen Abb. 31 erläutert werden. Auf der rechten Seite der Figur ist ein halber kreisförmiger, auf der linken ein halber elliptischer Meridian dargestellt. P ist also der Pol einer Kugel, P' der Pol eines Rotationsellipsoids, die wagerechte Grundlinie der Durchschnitt der durch den Äquator gelegten Ebene. Nehmen wir auf dem Kreisquadranten zwei gleich weit entfernte Punktpaare an, von denen a und b nahe dem Äquator, c und d nahe dem Pol liegen mögen, so schneiden sich die in diesen Punkten errichteten Senkrechten (Normalen) als Radien im Kugelmittelpunkt o und die von ihnen eingeschlossenen Winkel a o b und c o d sind gleich. Oder in der Umkehrung formuliert: auf einer Kugel entsprechen gleichen Winkelabständen der Normalen gleiche Meridianbögen.

Errichten wir dagegen auf dem Ellipsenbogen Normalen, so schneiden sich diese nicht mehr im Mittelpunkt. Die Winkelabstände zwischen a′ und b′, c′ und d′ sind allerdings auch hier gleich, wie wir erkennen, wenn wir mit dem Radius a o von o′ bzw. o″ aus Kreise beschreiben, wobei die Bögen a″ b″ = c″ d″ = c d = a b entstehen. Aber diese gleich großen Bögen liegen einmal außerhalb, einmal innerhalb der Ellipse. Die auf der Ellipse liegenden Meridianbögen sind dagegen ungleich, und zwar nimmt auf dem Ellipsoid die Länge eines Meridiangrades vom Äquator gegen die Pole immer mehr zu.

Nachdem die ersten Gradmessungen nicht die erwarteten Resultate geliefert hatten, beschloß die Pariser Akademie, Messungen an möglichst weit voneinander entfernten Stellen der Erdoberfläche vornehmen zu lassen. Maupertuis und

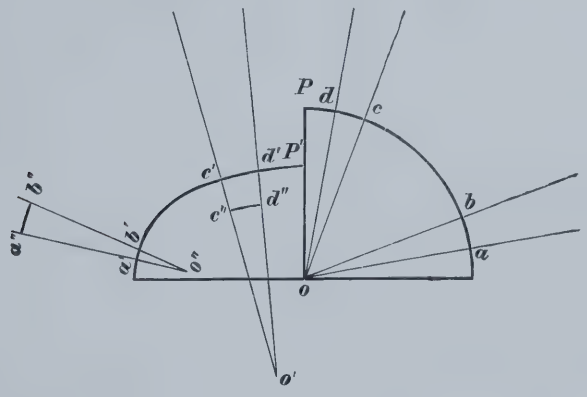


Abb. 31. Die Abplattung der Erde.

Clairaut maßen 1736/37 in Lappland, Bouguer und de la Condamine 1735 bis 1743 in Peru. Hierbei wurde in Lappland (66° 20′ N) für einen Meridiangrad die Länge 111947 m und in Peru (1° 31′ S) die Länge von 110614 m gefunden, während sie in Frankreich (49° 13′ N) 111212 m betrug. Der Meridiangrad war also in Lappland um $1^1/_3$ km größer als am Äquator, und damit war der Beweis für die Abplattung der Erde erbracht.

In der Folgezeit wurden die Gradmessungen verschiedentlich wiederholt; aus ihnen berechnete der Königsberger Astronom W. Bessel 1841 seine „Elemente" und fand

für den Äquatorialhalbmesser $a = 6377{,}397$ km,
für den Polarhalbmesser $b = 6356{,}079$ km.

Die Abplattung α beträgt danach

$$\alpha = \frac{a - b}{a} = \frac{21{,}318}{6377{,}397} = \frac{1}{299}.$$

Seit Bessel haben nun die Bemühungen, auf geodätischem Wege durch Ausmessung die Gestalt des Erdkörpers zu erforschen, keineswegs geruht. General J. J. Baeyer begründete im Jahre 1861 das Unternehmen der „Mitteleuropäischen Gradmessung", das aber bald seine Ziele weiter steckte und seit 1886 als „Vereinigung der internationalen Erdmessung" die Geophysik des gesamten Erd-

balls bearbeitet. Die Abplattungsziffer hat sich aber nicht wesentlich geändert; sie beträgt nach den Messungen Helmerts (1913) $^1/_{297}$. Die letzten Daten der übrigen Größen sind:

Äquatorialhalbmesser $a = 6378{,}4$ km,
Polarhalbmesser $b = 6356{,}9$ km.

Daraus ergeben sich

für den Umfang des Äquators 40076 km,
für den Umfang im Meridian 40009 km und
für die Oberfläche der Erde 510100800 qkm (Helmert 1913).

Indessen haben aber gerade diese Untersuchungen gezeigt, daß die wahre Erdgestalt auch nicht die eines idealen Rotationsellipsoids sein kann, sondern daß die einzelnen Teile der Erde verschieden stark gekrümmt sein müssen. Die Ursachen für diese Unstimmigkeiten können nur in der unregelmäßigen Verteilung der Festlandsmassen und der Meere liegen, die sich bei der Rotation verschieden verhalten.

Zur Bestimmung dieser Anomalien konnte nun wieder das Pendel herangezogen werden. Es ist eine alte Erfahrung, daß das Bleilot durch Gebirge, die eine Anziehung darauf ausüben, aus seiner senkrechten Richtung abgelenkt wird. Je näher man dem Fuß des Gebirges kommt, um so größer wird der Betrag der Ablenkung. Steigt man aber den Hang empor, so vermindert er sich wiederum, um oben auf dem Gipfel gleich Null zu werden, so daß das Pendel wieder genau vertikal hängt. Am Meißner bei Kassel konnte man die Untersuchungen besonders gut anstellen, da sich dieser Berg isoliert aus seiner weit niedrigeren Umgebung erhebt. Als Lossen bei seinen klassischen Untersuchungen des Harzes die Lotablenkungen maß, ergab sich das überraschende Resultat, daß hier der Nullpunkt nicht auf der Höhe des Gebirges, etwa auf dem Granitsockel des Brockens, gelegen ist, sondern am Südrand. Die geologische Karte belehrt uns nun, daß im südlichen Teil des Harzes mächtige Diabasgänge das Landschaftsbild bestimmen. Diabas hat aber ein höheres spezifisches Gewicht als der Granit des Brockenmassivs, und diese höhere Dichte brachte es mit sich, daß das Lot auch auf der Höhe des Harzes noch abgelenkt wurde.

Zeigte diese Untersuchung, der an andern Gebirgen viele folgten, nur lokale Lotabweichung, so hat man auch eine große Reihe regionaler, über ein größeres Gebiet sich erstreckender und schließlich auch kontinentaler Abweichungen feststellen können. Und gerade die letzteren ergaben nun wieder neue Überraschungen.

Man hatte angenommen, daß, wenn auch nicht die Festlandsoberfläche, so doch der Meeresspiegel die Gestalt eines Rotationsellipsoids aufweisen würde. Aber bereits Fischer hatte in den 70er Jahren dargelegt, daß auch die Meeresfläche nicht gleichmäßig angenommen werden könne, da schon der verschiedene Salzgehalt der einzelnen Meere, weiterhin die Strömungen und der Wechsel der Gezeiten bedeutsame Unterschiede im Niveau des Wasserspiegels auslösen müßten. Die Hauptstörungen würden aber nach Fischer auf die Anziehung des Wassers durch die Gebirge zurückgehen, denn genau wie das Lot müßte ja auch das Wasser der Schwerkraft dieser Massen folgen.

Berücksichtigt man alle diese Abweichungen, so ergibt sich eine von der Gestalt des Rotationsellipsoids eigentlich überall — wenn auch nur um geringe Beträge — verschiedene Erdgestalt. Man hat dafür den Ausdruck Geoid geprägt und angenommen, daß die Festländer über, die Meeresbecken aber unter der Fläche des Rotationsellipsoids gelegen seien. Zum Beweise konnten nun wiederum Pendelbeobachtungen herangezogen werden. Das Pendel schwingt nämlich auf ozeanischen Inseln schneller, als es ihrer geographischen Breite entspricht, und das läßt sich nur aus der größeren Schwerkraft der Erde erklären. Die Pendel befinden sich also hier näher dem Erdmittelpunkt, als es der Voraussetzung eines Ellipsoids entspricht. So gut hier die exakte Beobachtung der theoretischen Erwägung entsprach, so brachten anderseits die Messungen auf den Kontinenten unerwartete Resultate. Sterneck fand auf Grund sorgfältiger Messungen, daß der Betrag der Schwere gegenüber den theoretischen Werten in den Gebirgen im allgemeinen zu gering, in den Ebenen dagegen zu hoch wäre. Seine Untersuchungen erstreckten sich allerdings zunächst nur auf das Alpengebiet und auf die daran angrenzenden Ebenen der Lombardei und Süddeutschlands, aber Nachprüfungen in den verschiedensten Gebieten der Erde bestätigten die ersten Ergebnisse. So fand Helmert, der Schweremessungen auf den Linien Hadersleben—Koburg, Kolberg—Schneekoppe, Arkona—Elsterwerda anstellte, daß Thüringerwald und Riesengebirge zu geringe Schwere, die daran anschließenden Ebenen, vor allem ganz Norddeutschland, eine zu große Schwere aufwiesen.

Nachdem es O. Hecker gelungen war, auch über den Tiefen der Ozeane Schweremessungen anzustellen, ergab es sich, daß auch die Böden der Tiefsee eine größere Schwerkraft zeigten.

Seltsam genug erscheinen uns diese Resultate, sind wir doch geneigt, in den Massen der Gebirge, vor allem aber der Kontinente, Zentren der Schwerkraft zu sehen. Die Schweremessungen erweisen das Gegenteil: die Festlandssockel stellen gleichsam lockere, leichte Gebiete dar, während die Böden der Tiefsee einen Überschuß an Masse aufweisen, so daß auf diese Weise der Gegensatz zwischen Höhe und Tiefe gemildert ist.

II. Masse und Dichte der Erde.

Die Masse eines Körpers gibt einerseits an, welchen Widerstand er bewegenden Kräften entgegensetzt, und andererseits, wie stark der Körper andere Körper anzieht. Für die Körper unserer Erde gilt der Zusammenhang, daß ein Körper von 1 g Masse unter der Breite von Paris auch ein Gewicht von 1 g hat. Gewicht und Masse sind also verwandte Begriffe, und ebenso verwandt sind Dichte und spezifisches Gewicht, so daß der Laie am besten bei dem Wort „Masse" an das Gewicht denkt und bei „Dichte" an spezifisches Gewicht, weil ihm diese Begriffe geläufiger sind.

Die Dichte eines Körpers wird gemessen durch die Masse in der Raumeinheit. Wasser hat also die Dichte 1, weil 1 g Wasser einen Kubikzentimeter ausfüllt. Eisen

hat die Dichte 7,8, weil 7,8 g Eisen einen Kubikzentimeter ausfüllen. (Auch die spezifischen Gewichte von Wasser und Eisen sind nahezu 1 und 7,8.)

Kennt man nun von den drei Größen Masse, Rauminhalt und Dichte zwei, so kann man stets die dritte berechnen auf Grund der Formel

$$D = \frac{M}{V} \qquad \text{Dichte} = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}}.$$

Für die Erde läßt sich nun das Volumen angeben und auch die Masse. Das Volumen ergibt sich aus den Vermessungen der Erde, die Masse aus der Wechselwirkung der Erde mit anderen Gliedern des Sonnensystems auf Grund des Newtonschen Gravitationsgesetzes, nach welchem die Anziehungskraft (A) zweier Massen (M und m) aufeinander gleich dem Produkt der Massen ist, geteilt durch das Quadrat der Entfernung ihrer Schwerpunkte:

$$A = k \frac{M\,m}{R^2},$$

wobei k eine Konstante bedeutet.

Alle Teile des Erdkörpers beteiligen sich an der Anziehung, die Gesamtwirkung ist aber so, als ob eine Kraft, die der gesamten Masse der Erde entspricht, in Richtung auf ihren Mittelpunkt wirkte. Wenigstens gilt das für Körper, die soweit entfernt sind, daß man die Erde ohne nennenswerten Fehler als Kugel in Rechnung setzen kann. Befindet sich also zum Beispiel ein Körper auf der Erdoberfläche in der Nähe eines Berges, so macht sich der Einfluß der Bergmasse geltend, die seitwärts zieht. Schon die Steinhaufen der Pyramiden lenken das Lot aus seiner vertikalen Lage ab, weit mehr natürlich freistehende Bergmassen. Bei Harzburg maß man 13″, bei Ilsenburg am Harz 11″, bei Wladikawkas, nördlich vom Kaukasus, sogar 36″. Für die Schwerebestimmungen der Erde wurde bereits in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts von Maskelyne und Hutton der Shehallien in der schottischen Grafschaft Perth benutzt, dessen freiragender Kegel die Berechnung seines Volumens und Schwerpunkts und dessen gleichförmiges Gestein die Feststellung seiner Dichte erleichterte. Man berechnete aus der Lotabweichung das spezifische Gewicht der Erde zuerst auf 4,5, später auf 5,4. Annähernd ergab sich also für die Dichte der Gesamterde die Zahl 5, d. h. die Erdkugel hatte nach diesen Untersuchungen, deren Genauigkeit natürlich in recht weiten Grenzen lag, eine fünfmal so große Masse wie eine gleich große Wasserkugel.

Eine andere Methode benutzt zu Dichtebestimmungen Pendel von gleicher Länge, die man auf hohen Bergen und in Ebenen, bzw. in tiefen Bergwerken schwingen läßt. Aus der Beschleunigung läßt sich ebenfalls die Dichte bestimmen, und zwar fand man auf dem Fujiyama 5,77, in einem 300 m tiefen Schacht bei Newcastle 5,5 als mittlere Dichte der Erde.

Die Schwierigkeit dieser Messungen liegt naturgemäß in der Unsicherheit, den Rauminhalt eines Berges genau zu bestimmen. Deshalb verlegte man die Untersuchungen überhaupt aus der freien Natur in das physikalische Laboratorium.

Richarz und Krigar-Menzel nahmen in den Kasematten von Spandau unter Ausschaltung aller von außen her kommenden Störungen während eines Jahrzehnts genaueste Messungen vor. Sie konstruierten eine Wage (Abb. 32), an der an jedem Wagebalken eine massive und eine hohle Metallkugel im Abstand von 2,26 m aufgehängt wurde, und zwar auf der linken Seite in anderer Anordnung als auf der rechten. Durch den Ausschlag der Wage ergab sich die Differenz der Schwerebeschleunigungen in der Höhe der oberen und der unteren Kugeln. Dann wurde zwischen die Kugeln ein Bleiklotz von 100000 kg Gewicht geschoben, der nun einen Einfluß auf die massiven Kugeln ausüben mußte. Auf die obere wirkte er im positiven Sinne ein, indem die Anziehung des Bleis zu derjenigen der Erde hinzutrat, auf die untere aber im negativen Sinne, indem die Anziehung des Klotzes der Erdanziehung entgegenwirkte.

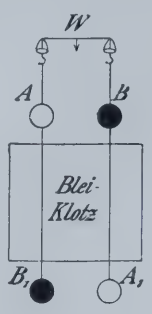


Abb. 32. Versuch von Richarz und Krigar-Menzel. W = Wagebalken. AA_1 Ganz leichte Hohlkugeln. BB_1 Schwere Vollkugeln.

Unter Anwendung komplizierter Formeln errechneten Richarz und Krigar-Menzel als Wert für die mittlere Dichte der Erde 5,505 mit einem mittleren Fehler von $\pm$ 0,0013.

Nachdem andere Untersuchungen der letzten Jahrzehnte, wenn nicht identische, so doch wenig abweichende Ergebnisse zeitigten, kann man als Durchschnittswert für die mittlere Dichte die Zahl 5,52 annehmen.

Die Erde ist also ungefähr $5^1/_2$ mal so schwer wie eine gleich große Wasserkugel. Da das Volumen einer solchen 1082841 Millionen cbkm beträgt, ein Kubikmeter Wasser aber dem Gewicht von 1000 kg entspricht, erhalten wir das Gewicht der Erde — natürlich einschließlich der Ozeane — durch Multiplikation dieser Zahlen:

1082841 Mill. cbkm $\times$ 1000 kg $\times$ 5,52 = 5,977 Quadrillionen Kilogramm.

Die mittlere Dichte der Erde ist über Erwarten hoch, wenn man die spezifischen Gewichte der verbreitetsten Gesteine damit vergleicht. Von den Eruptivgesteinen haben die leichteren — dazu gehören Granite, Gneise, Porphyre — nur ein spezifisches Gewicht von 2,5—2,7; die schwereren — Basalt, Diabas — ein solches von höchstens 3,3. Auch die Schichtgesteine haben eine geringe Dichte: Kalk, Sandstein, Ton gehen nicht über 2,8 hinaus, so daß höchstens diese Zahl dem mittleren spezifischen Gewicht der Gesteine entsprechen würde.

Weiterhin muß man noch berücksichtigen, daß der größere Teil der Erde von Wasser nicht nur bedeckt, sondern bis in beträchtliche Tiefen erfüllt ist, wodurch das spezifische Gewicht noch bedeutend erniedrigt wird, so daß die mittlere Dichte der oberflächlichen Erdschichten nicht höher als 2 sein kann.

Wie ist nun die Unstimmigkeit zwischen diesen tatsächlichen und den errechneten Werten für die Dichte der Gesamterde zu erklären?

Außer den genannten Gesteinen finden sich auf der Erde — allerdings in verhältnismäßig geringen Mengen — auch Mineralien von hohem spezifischen Gewicht. Es sind die Metalle. Man muß also annehmen, daß im Innern der

Erde Massen angehäuft sind, deren spez. Gewicht höher als der Durchschnittswert 5,6 ist, so daß dadurch die geringere Dichte der Oberflächenschichten wieder ausgeglichen sein würde. Dieser schweren Innenschicht — Barysphäre genannt — steht die leichtere Außenschicht der Gesteine, die Lithosphäre, gegenüber. Und hier konnte nun Tatsächliches die theoretischen Annahmen stützen.

III. Sternschnuppen und Meteoriten.

Wer kennt sie nicht, die leuchtenden Meteoriten, die in dunklen Nächten für einen Augenblick einen Streifen hellen Lichtes über das Himmelszelt ziehen oder die zu gewissen Zeiten in später Abendstunde als Sternschnuppen in großer Menge auf die Erde niederfallen? Mit Ehrfurcht muß man diese Stücke fremder Welten betrachten, denn sie geben dem Geologen Auskunft über die Zusammensetzung anderer Himmelskörper. Mit planetarischer, häufig 100 km in der Sekunde betragender Geschwindigkeit treten die Meteoriten in die Lufthülle ein. Die dadurch bedingte Reibung ruft eine starke Erhitzung hervor und deshalb leuchten sie wie ein Blitz über den Himmel hinweg. Die Erwärmung ist so groß, daß die Massen meist schon in hohen Regionen (150 km Höhe) in einzelne Teile zerbersten, die als Sternschnuppen in einer Feuergarbe weiterfliegen, bis sie ganz verpuffen. Widerstandsfähigere bleiben aber erhalten und gelangen als große Feuer- oder Leuchtkugeln bis in die unteren Luftschichten, um hier unter lautem Krachen zu zerplatzen und als Meteorsteine zur Erde niederzufallen.

Die Meteoriten zeigen nun ganz deutliche Spuren ihrer Blitzreise durch die Atmosphäre. Ihre Oberfläche ist infolge der Erhitzung mit einer dunklen Schmelzrinde bedeckt. Häufig zeigt diese Rinde zahlreiche Vertiefungen, sog. Näpfchen, die nach Daubrées Untersuchungen durch den Druck der gepreßten Luft hervorgerufene Absplitterungen darstellen.

Da die Meteoriten Splitter größerer Körper sind, zeigen sie niemals eine bestimmt umrissene Form; sie sind zumeist kleine, scharfkantige Bruchstücke (Abb. 33).

Meteoriten sind recht selten zu beobachten und galten daher auch von jeher als Naturwunder, ähnlich wie die Kometen, mit denen sie manchen Zusammenhang zeigen. Die ältesten Nachrichten über sie lesen wir in den Chroniken Chinas; schon 700 vor Christi Geburt wurde ein Fall genau aufgezeichnet. Die Bruchstücke wurden damals und auch später gesammelt und als himmlische Gaben, denen man Wunderkraft zuschrieb, in Tempeln aufbewahrt. Auch der schwarze, in der Kaaba zu Mekka eingemauerte Stein, zu dem jährlich Hunderttausende pilgern, ist ein Meteorstein.

Im Mittelalter und bis weit in die Neuzeit hinein herrschten die merkwürdigsten Vorstellungen über diese Steine, die „vom Himmel fallen". Erst der große Physiker Chladni drang am Ende des 18. Jahrhunderts siegreich mit seiner Ansicht durch, daß diese Trümmer aus dem fernen Weltenraume stammten.

Der Kopf des Halleyschen Kometen.
Nach einer Aufnahme am 8. Mai 1910 auf der Mt. Wilson-Sternwarte in Kalifornien.
Die Sterne haben während der Dauer der Aufnahme kurze Striche gezogen.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Die Zahl der beobachteten Fälle von Meteoriten ist keineswegs groß; deshalb stellen die Meteorsteine in den geologischen Sammlungen meist Paradestücke dar. Die größten und berühmtesten sind sogar benannt, und zwar nach dem Orte ihres Falles, so der Ranchito, der mit 50000 kg der schwerste Eisenmeteorit ist. Die meisten werden aber gar nicht gefunden, denn viele Meteorschwärme lösen sich in zu winzige Stücke, ja mitunter in eine staubförmige, hauptsächlich aus magnetischem Eisenoxyd bestehende Masse auf. Bei Stannern in Mähren fielen auf

Abb. 33. Meteorit von Stannern.
Seine schwarze Rindenschicht ist mit kleinen verästelten Rinnen und Rillen bedeckt, die strahlenförmig verlaufen.

einmal ein paar hundert Steine zu Boden (Abb. 33), in der Normandie gar gegen 3000 auf eine Fläche von nur wenigen Quadratkilometern. Man hat die Zahl der Meteorfälle, die in jedem Jahre auf die Erde niedergehen, und von denen wir selbst in dem kleinen Raum der Kulturstaaten nur die allerwenigsten zu Gesicht bekommen, auf etwa 900 berechnet und die Masse an Stoff, um die unsere Erde in der gleichen Zeit bereichert wird, auf 450 t, immerhin eine Zahl, die in Betracht gezogen werden muß, da die Erdgeschichte mit Jahrmillionen rechnet. Die chemische Untersuchung ergibt, daß die Meteoriten lediglich aus Grundstoffen bestehen, die auch die irdischen Gesteine zusammensetzen. Das wichtigste Element ist dabei metallisches Eisen, das stets durch einen Nickelgehalt von mehr als 6,5% ausgezeichnet ist. Da es aber auch ziemlich eisenarme Varietäten gibt, hat Daubrée die Meteoriten in Eisenmeteoriten (Siderite) und Steinmeteoriten (Asiderite) eingeteilt. Die ersteren gliedern sich wiederum in die gänzlich aus metallischem Eisen bestehenden Meteoreisen und in die Lithosiderite. Die meisten Meteoreisen zeigen beim Anätzen einer Fläche die sog. Widmannstätten'schen Figuren, die durch wechselnde Lagen nickelreichen und nickelarmen Eisens hervorgerufen werden. Die Lithosiderite führen neben Eisen noch Mineralien (Olivin, Bronzit)

und bilden einen allmählichen Übergang zu den Steinmeteoriten, bei denen eisenfreie Mineralien vorherrschen.

Man nimmt nun mit großer Berechtigung an, daß die eisenreichen Meteoriten den Kernzonen der zertrümmerten fremden Himmelskörper, die Steinmeteoriten aber deren Schalenzonen entstammen. Dementsprechend sind auch die eisenreichsten am häufigsten, denn die dünne Rinde eines Planeten liefert weit weniger Trümmermaterial als die innere eisenreiche Barysphäre. Was man aber für andere Weltkörper annimmt, das wird auch für unseren Planeten Gültigkeit haben, denn die Spektralanalyse hat die gleichartige stoffliche Zusammensetzung der Himmelskörper erwiesen: wir dürfen also aus der Zusammensetzung der Meteoriten auf einen Metallkern unserer Erde schließen.

IV. Die Wärme des Erdkörpers.

Die Wärme, die auf der Erdoberfläche alles Leben erhält, entstammt zum allergrößten Teil der Sonne, die seit undenklichen Zeiten Licht und Wärme in den Weltraum ausstrahlt. Neben ihr ist die Eigenwärme der Erde für die Erwärmung der Erdoberfläche kaum von Bedeutung; fühlbar wird diese überhaupt erst in einer Tiefe, in der die täglichen wie die jahreszeitlichen Schwankungen der Lufttemperatur die Bodentemperatur nicht mehr zu beeinflussen vermögen, so daß wir konstante Temperaturen messen können. Die Temperaturunterschiede der Oberfläche gleichen sich allerdings infolge der geringen Leitungsfähigkeit des Bodens ziemlich schnell aus. Unsere Kellerräume erscheinen uns im Sommer kühl, im Winter warm; sie haben das ganze Jahr hindurch ungefähr die gleiche Temperatur. Der große Physiker Lavoisier stellte im Keller der Pariser Sternwarte in einer Tiefe von 28 m im Jahre 1783 ein Thermometer auf, das seit dieser Zeit unveränderlich eine Temperatur von 11,82° C angezeigt hat.

Ist also in einer bestimmten Tiefe die Temperatur konstant, so wird sie anderseits immer höher, je tiefer wir in das Erdinnere hinabgehen. Das Ansteigen der Temperatur hat man in Bergwerken und in Tunnels genau messen können. Im St. Gotthardtunnel wurde auf der Nordseite, 658 m unter der Oberfläche, 22,4°, in der Mitte, in 1700 m Tiefe, 32° C gemessen. Weit wichtiger waren die Beobachtungen an Bohrlöchern, die in senkrechter Richtung verhältnismäßig tief in den Boden führen, und besonders wertvolle Ergebnisse brachte die Tiefbohrung bei Sperenberg, 42 km südlich von Berlin, da sie fast ausschließlich ein einheitliches Steinsalzlager durchmaß. Man fand folgende Werte:

Tiefe	Temp.	Tiefe	Temp.
219 m	19,1° C	516 m	32,0° C
282 m	22,2° C	595 m	34,1° C
345 m	24,9° C	658 m	36,1° C
408 m	27,4° C	1063 m	45,8° C
470 m	29,7° C	1267 m	48,8° C

Aus diesen Zahlen läßt sich unschwer die geotherme Tiefenstufe berechnen, welche angibt, um wieviel Meter man von einer Stelle mit einer bestimmten Temperatur tiefer hinabsteigen muß, um einen Temperaturzuwachs von 1^0 zu erhalten. Selbstverständlich ist die geotherme Tiefenstufe nicht eine feststehende Größe; sie schwankt beträchtlich, wie man aus der folgenden Tabelle, die verschiedene Bohrungen berücksichtigt, entnehmen mag:

Ort	Erreichte Tiefe	Geoth. Tiefenst.
Czuchow (Oberschlesien)	2240 m	31,8 m
Paruschowitz (Oberschlesien)	2003 m	34,1 m
Sperenberg (Lausitz)	1273 m	33,7 m
Lieth (b. Altona)	1259 m	35,0 m
Schladebach (b. Merseburg)	1748 m	35,7 m

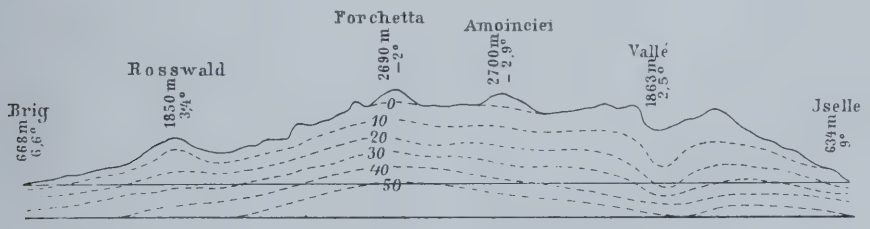


Abb. 34. Die Geoisothermen im Gebiet des Simplontunnels (nach Schardt).

Hierbei handelt es sich nur um deutsche Bohrungen. Auf den Britischen Inseln schwankt die geotherme Tiefenstufe nach Sollas sogar zwischen den Werten 10 und 28 m. In gebirgigen Gegenden steigen die Tiefenstufen stets stark an, um sich unter Ebenen und Tälern wieder einzusenken. Sie ahmen also gleichsam die Niveauunterschiede der Erdoberfläche nach, zwar nicht absolut getreu, aber doch in großen Zügen, etwa wie der Grundwasserspiegel, der sich ebenfalls, der Oberfläche folgend, hebt und senkt.

Verbindet man die Punkte gleicher Temperatur miteinander, so erhält man Geoisothermen, d. h. Flächen gleicher Erdwärme. Da sich diese in größeren Tiefen mehr und mehr ausgleichen und in fast demselben Abstand unter Bergen wie unter Tälern verlaufen, müssen sie dicht an der Erdoberfläche unter Bergeshöhen in weiterem, unter Talniederungen in näherem Abstand voneinander entfernt liegen. Die Stufenwerte betragen unter Bergen etwa 40—60 m, unter Tälern dagegen nur etwa die Hälfte (Abb. 34).

Aber auch Gesteinsunterschiede bedingen Abweichungen in der Tiefenstufe. Es ist ja einleuchtend, daß die verschiedenen Felsarten die Wärme, die sie aus dem Untergrund empfangen, in verschiedenem Grade weiterleiten werden. Manchmal ist aber die Tiefenstufe über alles Erwarten klein, so daß die Geoisothermen sich dicht aneinanderdrängen; dann liegen zumeist besondere Ursachen vor. Die Mineralien zersetzen sich und geben dabei Wärme ab: bei kohlenführenden Schichten wird die Tiefenstufe allein durch diese chemischen Vorgänge auf 5,2 m im äußersten Fall (Braunkohlengrube von Ossegg in Böhmen) verringert. Auch vulkanische

Erscheinungen wirken stark auf den Verlauf der Flächen ein, selbst wenn es sich um bereits erloschene Vulkane handelt. Am Neuffen in Württemberg, einem alten Vulkanberg, fand man eine Wärmezunahme um 1° schon auf je 11 m, während die normale Tiefenstufe in Deutschland fast den dreifachen Wert aufweist. Hier heizt eben der alte Vulkanofen noch mit seiner letzten Glut das umliegende Gestein. In anderen Fällen kann die Tiefenstufe aber auch sehr groß werden, namentlich dann, wenn kalte Quellen das Gestein auskühlen oder wenn die Schichten steilgestellt sind und so die Wärme schneller an die Oberfläche entweichen lassen.

Wie weit nun die Regelmäßigkeit der geothermen Tiefenstufe reicht, die wir für die äußerste Haut unseres Planeten erwiesen haben, ist nicht zu ergründen, denn in unseren tiefsten Bohrlöchern (Paruschowitz und Czuchow in Oberschlesien mit rund 2000 m Tiefe) durchdringen wir noch nicht einmal den 3000sten Teil des Erdhalbmessers. Das bedeutet aber so viel, als wenn wir mit der Nadel durch das Papier eines Globus von 1 m Durchmesser stechen würden und nun glaubten, daraus Schlüsse auf das Innere der Kugel ziehen zu dürfen.

Wenn wir also auch nur für die bisher erreichten Tiefen mit Sicherheit eine Temperaturzunahme von 1° auf je 35 m annehmen können, so erweisen physikalische Überlegungen, daß im Innern der Erde die Temperatur nicht wie an der Oberfläche in arithmetischer, sondern in geometrischer Progression zunimmt. Nicht nur die warmen Quellen, die bisweilen siedend heißes Wasser führen, obgleich sie aus nicht allzu großen Tiefen stammen, sprechen dafür, sondern vor allem die Laven, die glühflüssigen Gesteinsmassen, die den Vulkanen entströmen und die Temperaturen von mehr als 1000° C aufweisen.

Man hat nun gefunden, daß die Wärmeverhältnisse der Erde durch den Radiumgehalt der Gesteine wesentlich beeinflußt werden. Beim Zerfall radioaktiver Stoffe werden bekanntlich bedeutende Wärmemengen frei, die sicherlich der Abkühlung entgegenstehen. Wie groß der Einfluß dieser Wärmequelle indessen ist, läßt sich nicht feststellen, da die Gesamtmenge des Radiums nicht geschätzt werden kann. Man darf aber mit Sicherheit behaupten, daß die Wärmeentwicklung der radioaktiven Stoffe die Abkühlung der Erde erheblich verzögert hat und noch weiterhin verzögert.

Nehmen wir eine weitere Temperatursteigerung im Sinne der geothermen Tiefenstufe an, so kommen wir bald zu Temperaturen, bei denen auch die schwer schmelzbaren Mineralien nur in flüssigem oder gasförmigem Zustand bestehen können. Über die Grenze zwischen der starren Erdkruste und der Innenschicht gehen allerdings die Meinungen noch weit auseinander. Humboldt schätzte die feste Rinde auf 40—50 km Dicke, und heute ist man zu diesen Werten zurückgekommen, wobei man sich vor Augen halten muß, daß der Übergang nicht sprunghaft, sondern ganz allmählich erfolgen wird.

Was nun den physikalischen Zustand des Erdinnern anbelangt, so hat man an der früher allgemein herrschenden Hypothese eines feurigflüssigen Innern

mehr und mehr Kritik geübt. Bei zunehmendem Druck erhöht sich nämlich auch der Schmelzpunkt, das heißt die Temperatur, bei der ein Körper aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeht. Da nun im Erdinnern auf jeden Kilometer der Druck um 250 Atmosphären zunimmt, ist es sehr unwahrscheinlich, daß die im Innern der Erde herrschende Temperatur so hoch ist, daß sie unter dem bestehenden Druck das Gestein zum Schmelzen bringen würde. Zahlreiche Geologen stehen deshalb auf dem Standpunkt, daß der Erdkern völlig starr sei, daß sich aber zwischen Kern und Rinde eine flüssige Zone einschiebe, in der ein geringerer Druck Schmelzen des Gesteins nicht verhindere. Andere Forscher sind noch weiter gegangen und haben für das gesamte Erdinnere eine starre Beschaffenheit angenommen, indem sie darauf hinwiesen, daß in einem glühflüssigen Erdinnern durch Sonne und Mond Ebbe- und Fluterscheinungen hervorgerufen werden müßten.

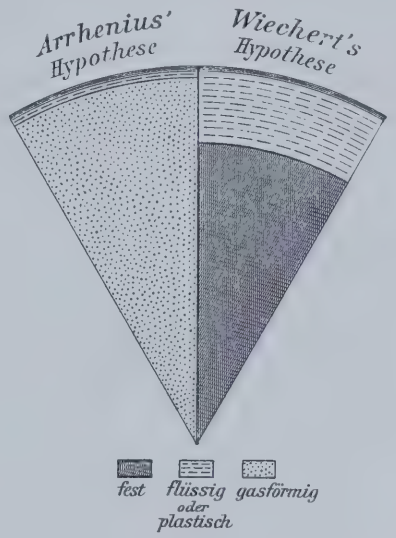


Abb. 35. Die Zustände des Erdinnern nach Arrhenius und Wiechert.

In den letzten Jahrzehnten macht sich auf diesem viel umstrittenen Gebiete mehr und mehr die Ansicht geltend, daß das Erdinnere zwar infolge des außerordentlich hohen Druckes starr sei, daß es aber dennoch eine zähflüssige Beschaffenheit habe, etwa wie Glas oder Siegellack, die bei plötzlicher Beanspruchung wohl spröde und hart sind, aber bei langsam wirkenden Kräften plastisch werden und sich schließlich wie Flüssigkeiten verhalten. Dabei macht es dann nicht viel aus, ob man in der innersten Kernschicht eine Flüssigkeit mit den Eigenschaften fester Körper annimmt, oder, wie es der bekannte Physiker Arrhenius tut, eine gasförmige Materie, die bei einem auf 3 Millionen Atmosphären geschätzten Druck trotz ihrer Temperatur von 100000° ebenfalls ein starres Gepräge zeigen müßte.

Wichtige Aufschlüsse über die Struktur des Erdinnern brachten die Untersuchungen über die Fortpflanzung der Erdbebenwellen mit sich, wie sie vor allem von Wiechert angestellt wurden. Die Geschwindigkeit der durch das Erdinnere verlaufenden Bebenwellen nimmt nämlich mit der Tiefe zu, und zwar läßt sich in 1400—1500 km Tiefe ein plötzliches rasches Ansteigen der Geschwindigkeit feststellen, das — da die Geschwindigkeit der Wellen von der Dichte des Gesteins abhängig ist — nur durch eine plötzliche Änderung dieser Dichte zu erklären ist. Nach Wiechert besteht demnach die Erde aus einer 1400—1500 km dicken Schale, deren Schichten zu oberst ein spez. Gewicht von 2,7, zu unterst von 3,4 haben. Die äußerste Rinde setzt sich aus Sedimenten und Gneis zusammen; da in diesen die Elemente Silizium (Si) und Aluminium (Al) vorherrschen, bezeichnete sie schon Sueß als Sal, während er die aus Silizium (Si) und Magnesium bestehende Rindenzone Sima nannte.

Der Erdkern besitzt nach Wiechert eine mittlere Dichte von 8,5 und besteht in der Hauptsache aus Nickel (Ni) und Eisen (Fe). Er wird deshalb als Nife bezeichnet. Aber auch hier ergeben sich noch Sonderungen, und nach den weiteren Untersuchungen, die Wiecherts Schüler anstellten, lassen sich jetzt eine ganze Reihe von Kugelschalen unterscheiden, die auf den Abbildungen veranschaulicht sind (Abb. 35 und 36).

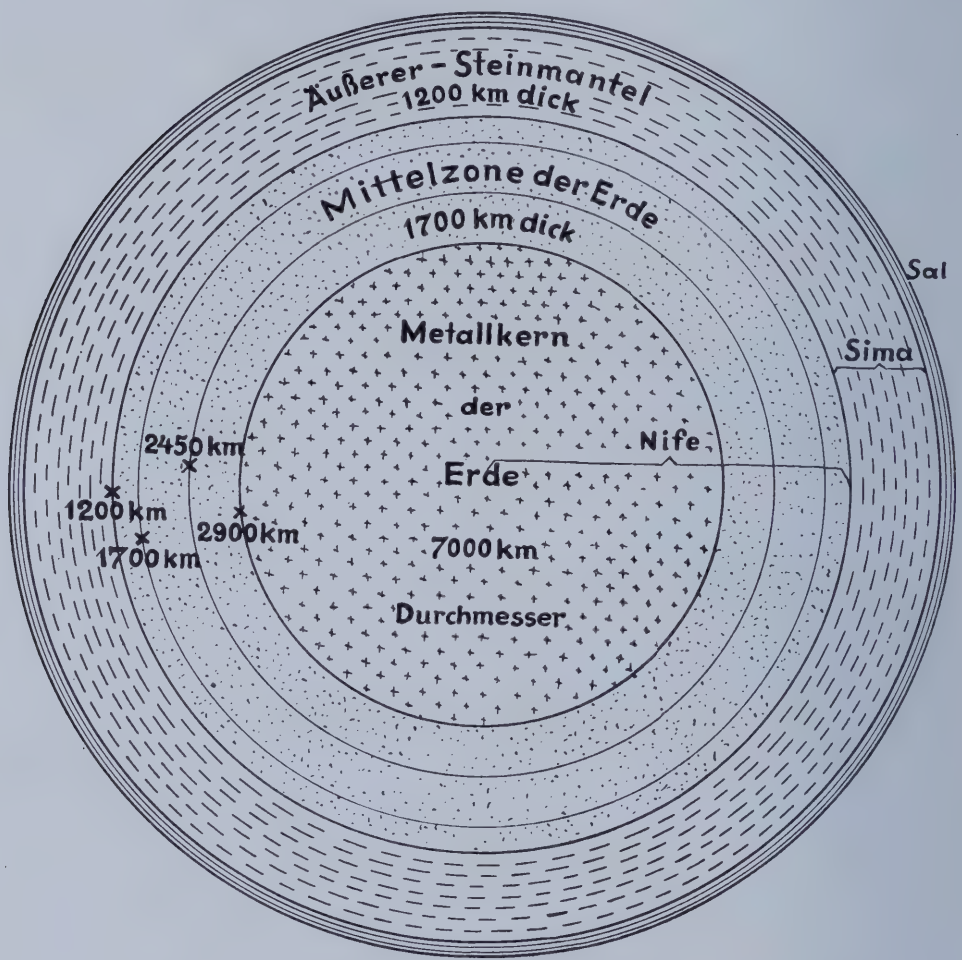


Abb. 36. Die Kugelschalen der Erde nach Wiechert u. a.

* * *

Dritter Teil

Die Erdrinde und ihre Bestandteile

Grundzüge der Mineralogie und Gesteinskunde

Von Dr. C. W. Schmidt

Gliederung des dritten Teiles

Seite

I. Die Zusammensetzung der Erdrinde 105

II. Allgemeine Mineralogie 107

A. Allgemeine kristallographische Eigenschaften der Mineralien . 107
B. Allgemeine physikalische Eigenschaften der Mineralien . . 115
C. Allgemeine chemische Eigenschaften der Mineralien . . . 118

III. Die wichtigsten Mineralien 119

A. Elemente 119
B. Schwefelverbindungen 128
C. Oxyde 130
D. Haloidsalze 136
E. Karbonate 140
F. Sulfate 144
G. Phosphate 145
H. Silikate 146
I. Harze 150

IV. Die wichtigsten Gesteine 152

A. Allgemeine petrographische Bemerkungen 152
B. Eigenschaften und Auftreten der wichtigsten Gesteine . . . 159

I. Die Zusammensetzung der Erdrinde.

In der ersten Zeit der geologischen Forschung, etwa um die Wende des 19. Jahrhunderts, standen sich betreffs der Frage, wie die Gesteine entstanden seien, zwei Anschauungen schroff gegenüber. Die Geologen der einen Schule nahmen den Standpunkt ein, daß alle Gesteine, die die Erdrinde zusammensetzen, sich aus dem feurigflüssigen Gesteinsbrei gebildet hätten, wie er noch heute bei Vulkanausbrüchen an die Erdoberfläche kommt. Sie nannten sich deshalb nach dem Gott der Unterwelt Plutonisten. Im Gegensatz dazu sahen die Neptunisten im Wasser den Bildner aller festen Stoffe. Heftige wissenschaftliche Fehden entspannen sich zwischen den Gelehrten, bis man schließlich einsehen mußte, daß jede einseitige Deutung der Gesteinsbildung weit übers Ziel hinausgeschossen hatte und daß für die Entstehung der Gesteine sowohl die Ausscheidung aus dem vulkanischen Brei, dem Magma, als auch der Absatz aus dem Wasser in Frage kämen.

Als die Erde sich so weit abgekühlt hatte, daß sich auf ihr eine feste Kruste bilden konnte, wurden in dieser die ersten Gesteine abgeschieden. Das war jedenfalls eine sehr bewegte Zeit: die festen Schollen, die auf dem brodelnden, zähflüssigen Magma schwammen, brachen ein, wurden in stetem Wechselspiel emporgehoben und wieder zurückgerissen, bis sie schließlich einen gewissen Zusammenhang erlangten und das heiße Erdinnere mit einem Gesteinsmantel zu umhüllen begannen. Aber auch dieser Mantel barst und zerriß wieder und wieder und ließ neue Fluten flüssigen Gesteins über sich hinweggehen. So tobte der Kampf zwischen dem flüssigen und dem festen Zustand wohl jahrmillionenlang, bis endlich das Feste gesiegt hatte und sich die erste Kruste bilden konnte.

Von dieser ersten Erstarrungskruste ist uns, wie wir wohl mit Bestimmtheit annehmen können, nichts überkommen; die ältesten Gesteine, die wir kennen, gehören sicherlich nicht ihr an, sondern sind bereits aus anderen Gesteinen hervorgegangen. Aber die Macht des glühenden Inneren lebte unter dem Panzer der Erdschichten weiter. Immer wieder drang mit unwiderstehlicher Gewalt das Magma empor, zerriß und zerbrach an den verschiedensten Stellen die Decke, lagerte seine Ströme über die erstarrten Schichten und schuf auf diese Weise ständig neue Gesteine. Das fließende Wasser des Regens sowie heiße Quellen und Dämpfe zerstörten sogleich den Aufbau dieser Urgesteine wieder; die Verwitterung wirkte im Uranfang der Erde ebenso wie jetzt: die Gesteine zerfielen zu Schutt und Grus,

wurden vom Wasser mitgeschwemmt und als Kies, als Sand und als feine Trübung irgendwo anders wieder abgesetzt. Eine Schicht dieses Verwitterungsmaterials lagerte sich über die andere, und es bildeten sich mächtige Ablagerungen aus dem Wasser. Damit ergibt sich eine große Zweiteilung der Gesteine in Eruptiv- oder Ausbruchsgesteine und in Sediment- oder Ablagerungsgesteine, und es ist nunmehr unsere Aufgabe, die wichtigsten Gesteine und die sie zusammensetzenden Mineralien zu beschreiben. Zuvor müssen aber noch einige Grundbegriffe erläutert werden.

Unter einem Gestein versteht man die massige Ausbildung eines Minerals oder die innige Vermischung verschiedener Mineralien zu einem einheitlichen Felsgebilde. Demnach unterscheidet man einfache und gemengte Gesteine. Ein einfaches Gestein ist beispielsweise der Kalkstein, der sich aus dem Mineral Kalkspat aufbaut, ein gemengtes ist der Granit, der aus Quarz, Feldspat und Glimmer besteht. Außer den festen gibt es nun auch noch lockere Gesteinsarten, wie Sand, Ton, Mergel, die in zahllosen Übergängen bis zu völlig verfestigten Bildungen auftreten.

Die die Gesteine aufbauenden Mineralien sind die in der Natur vorkommenden chemischen Elemente oder Verbindungen. Von den etwa 80 Elementen, die man im Laufe der Zeit aufgefunden hat, kommen für die Bildung der Gesteine kaum zwei Dutzend in Betracht. Die wichtigsten sind:

von Nichtmetallen:	von Metallen:
1. Sauerstoff, O,	10. Aluminium, Al,
2. Wasserstoff, H,	11. Eisen, Fe,
3. Kohlenstoff, C,	12. Mangan, Mn,
4. Chlor, Cl,	13. Kalium, K,
5. Schwefel, S,	14. Natrium, Na,
6. Fluor, F	15. Kalzium, Ca,
7. Phosphor, P,	16. Magnesium, Mg,
8. Stickstoff, N,	17. Barium, Ba,
9. Silizium, Si,	18. Chrom, Cr.

Die Mengenverhältnisse, in denen diese Elemente in den einzelnen Gesteinen auftreten, sind nun ganz verschieden. Die ersten Versuche, auch diese zu bestimmen, wurden von Clarke, einem bekannten amerikanischen Mineralogen, unternommen. Clarke bekam aus allen Teilen Amerikas Gesteine zur Untersuchung zugesandt. Er sagte sich nun mit Recht, daß ihm diejenigen Gesteine, deren Vorkommen verhältnismäßig häufig ist, auch am meisten zur Analyse vorgelegt werden würden, daß dagegen diejenigen Gesteine, welche nur einen geringen Anteil am Aufbau der festen Erdrinde hätten, naturgemäß auch nur selten zur Untersuchung eingereicht werden könnten. Da nun die Gesteinsschichten durch Gebirgsbildung stark durcheinander geworfen und aufgetürmt sind, ist uns außerdem nicht allein die oberste Schicht der Erdrinde zugängig, sondern ungefähr alles Gestein bis gegen 10 km Tiefe. Der amerikanische Gelehrte stellte nun aus einer Riesenzahl einzelner chemischer Gesteinsuntersuchungen eine Tabelle zusammen, die dann in Europa

von J. N. Vogt noch erweitert und berichtigt wurde. An dem Aufbau der Erdrinde bis zu 10 km Tiefe haben danach in Prozenten folgende Elemente Anteil:

	Feste Rinde %	Meerwasser %	Atmosphäre %	Gesamte fest-flüssige Oberfläche %
Sauerstoff	47,2	85,79	23,01	50,00
Silizium	28,0	—	—	28,00
Aluminium	8,0	—	—	7,45
Eisen	4,5	—	—	4,20
Kalzium	3,5	0,05	—	3,25
Natrium	2,5	1,14	—	2,40
Magnesium	2,5	0,14	—	2,35
Kalium	2,5	0,04	—	2,35
Wasserstoff	0,17	10,67	—	0,90
Titan	0,33	—	—	0,30
Kohlenstoff	0,22	0,002	0,01	0,20
Chlor	0,025—0,04	2,07	—	0,175
Stickstoff	—	—	75,68	—

Man erkennt aus dieser Tabelle sofort, daß der Sauerstoff die Hälfte der gesamten Menge ausmacht, das Silizium etwa den vierten Teil, und daß für alle übrigen Elemente nur noch das letzte Viertel übrigbleibt.

Wir vermissen in dieser Zusammenstellung allerdings einige recht bekannte Elemente. Das hat seine Ursache darin, daß diese wohl an einzelnen Stellen häufig vorkommen, für die Gesamtheit der Erdkruste aber doch nichts bedeuten. Zwischen $^1/_{100}$ und $^1/_{1000}$ % machen z. B. Nickel, Brom und Bor aus, zwischen $^1/_{1000}$ und $^1/_{10000}$ % Kobalt, Jod, Zinn, Arsen und andere. In noch weit geringerem Maße treten dann Blei, Zink, Kupfer und Antimon auf, nur in Spuren schließlich Quecksilber, Silber, Gold und Platin.

Wir müssen uns aber vor Augen halten, daß die chemische Analyse der Gesamterde, also mit Einschluß der schweren Innenzone, ganz anders ausfallen würde. Der Sauerstoff nähme dann nur einen recht bescheidenen Prozentsatz ein, während das Eisen an die erste Stelle rücken und auch andere Metalle an Bedeutung gewinnen würden.

II. Allgemeine Mineralogie.

A. Allgemeine kristallographische Eigenschaften der Mineralien.

Aus der Fülle von Mineralien, die im Laufe der Zeit beschrieben worden sind, suchen wir für dieses Buch nur eine verschwindend geringe Anzahl heraus, nämlich einmal jene, welche für den Aufbau der Gesteine von Wichtigkeit sind, ein andermal die technisch nutzbaren Mineralien. Es war ja schon angedeutet worden, daß gerade die letzteren, für den Menschen wertvollen nur in so geringer Menge vorhanden sind, daß ihr Fehlen das Bild der Erdoberfläche in keiner Weise verändern würde, aber gerade diese Seltenheit hat ja zum Teil auch den Wert dieser Mineralien bedingt.

Die Wissenschaft hat in das Reich der Mineralien, genau wie in das Pflanzen- und Tierreich eine Ordnung hineingebracht. Wie man die Organismen nach ihren verwandtschaftlichen Beziehungen geordnet und daraufhin ein System aufgebaut hat, so hat man auch die Mineralien in Gruppen eingeteilt. Mancherlei Wege hat man da eingeschlagen. Eine Gliederung nach äußerlichen Gesichtspunkten (spez. Gewicht, Glanz und dergleichen) führte zu einem künstlichen System, das über die stoffliche Verwandtschaft der einzelnen Mineralien zueinander nichts aussagte, während die Einteilung nach der chemischen Zusammensetzung eine natürliche Gruppierung ermöglichte. Indessen bietet eine restlose Durchführung dieses natürlichen Systems noch zahlreiche Schwierigkeiten, da die chemische Zusammensetzung mancher Mineralien nicht restlos aufgedeckt ist und manche Eigentümlichkeiten der chemischen Struktur gewisser Mineralien eine eindeutige Gliederung nicht zulassen.

Da es uns lediglich darauf ankommt, in großen Zügen die Mineralien zu behandeln, werden wir uns an die strikte Durchführung eines Systems überhaupt nicht gebunden halten, zumal wir die rein beschreibende Darstellung durch mancherlei Ausblicke unterbrechen werden.

Bevor wir aber auf die spezielle Mineralogie eingehen, ist es notwendig, noch einige allgemeine Begriffe, mit denen wir stets zu arbeiten haben, festzulegen und uns vor allem mit der allgemeinen Erscheinungsform der Mineralien vertraut zu machen.

Man ist leicht geneigt, die Mineralien als die anorganischen Bestandteile unseres Planeten für ewig und unvergänglich zu halten. Das trifft aber keineswegs zu. Genau wie im Reiche des Lebens haben wir bei den Mineralien Werden und Vergehen zu unterscheiden, nur gehen diese Prozesse nicht so sinnfällig wie in der belebten Natur vor sich. Die Mineralien entstehen, sie wachsen heran, sie altern und vergehen, und aus ihrer Substanz wachsen neue Generationen hervor. Allerdings ist die Lebensdauer bei ihnen zumeist so lang bemessen, daß es uns nur in seltenen Fällen möglich ist, die einzelnen Phasen zu verfolgen.

Was die Bildung der Mineralien anbelangt, so sehen wir viele aus dem glühenden Schmelzfluß der Laven sich bilden, andere entstehen aus den Dämpfen, die bei vulkanischen Ausbrüchen der Erde entströmen, die meisten werden aus wässerigen Lösungen abgeschieden. Lassen wir einen Tropfen Quellwasser auf einem Glasplättchen verdunsten, so verbleibt als feiner weißer Belag das Mineral kohlensaurer Kalk, verdampfen wir in einem Gefäß Meerwasser, so setzt sich am Boden ein fester Körper ab, in dem mancherlei Mineralien enthalten sind. Das Regenwasser, welches in den Boden eindringt, belädt sich auf seinem Wege durch die Felsspalten und -ritzen mit den verschiedensten Mineralien, die es in mehr oder weniger großer Menge löst, um sie an anderen Stellen wieder abzusetzen. Selbst unlösbar erscheinende Stoffe werden in einem genügend großen Quantum Wasser zur Lösung gebracht und fortgeführt, besonders dann, wenn das Regenwasser auf seinem Wege durch die Luft und durch die Humusschicht Säuren aufgenommen hat, die ihm eine größere Lösungskraft verleihen. Die Mineralien, auf die solches Wasser trifft, werden nicht sofort aufgelöst, sondern nur ganz allmählich

zerstört. Sie verlieren ihren Glanz, sie werden angeätzt, sie werden rauh und zerbrechlich und zerfallen schließlich, um nunmehr eine verhältnismäßig leichte Beute des Wassers zu werden. So vergehen sie, bisweilen ohne eine Spur zu hinterlassen. Aus ihren Molekülen bilden sich aber neue Generationen desselben Minerals oder es entstehen, wenn das Wasser mit anderen Lösungen zusammentrifft, neue Körper, frische Mineralien. Wie auf der Erdoberfläche die Organismen aufblühen und verwelken, so läßt sich auch im Innern der Erdrinde ein ewiger Kreislauf der anorganischen Materie feststellen, ja, dieser Kreislauf gliedert sich zum Teil sogar in denjenigen des Lebens ein, da die Pflanzen die aufgelösten Mineralstoffe mit ihren Wurzeln aufnehmen und zum Aufbau ihres Körpers verwenden.

Technophotogr. Archiv, Berlin.

Abb. 37. Quarzkristall. Kristalle wachsen, wie man an dieser Photographie deutlich sieht, durch Anlagerung neuer Schichten.

Wenn wir eine kleine Menge Meerwasser allmählich verdunsten lassen, so scheidet sich das darin hauptsächlich vorhandene Steinsalz nicht als eine gleichmäßige, pulverige Masse, sondern in Form von ringsum durch ebene Flächen begrenzten Körpern, von sogenannten Kristallen aus. Manchmal erkennt man, daß es kleine Würfel sind, die uns durch ihre Ebenmäßigkeit überraschen. Solche fest umgrenzten Gebilde waren schon dem Altertum bekannt. Aus den Eisgefilden der Alpen brachten Reisende sechsseitige, glänzende, wasserklare Stücke mit. Da sie durchsichtig wie Eis waren, meinte man in ihnen durch andauernde Kälte verhärtetes Eis vor sich zu haben und nannte sie wie dieses Krystallos. Der Name Kristall blieb dann erhalten, und wurde die Bezeichnung für die natürliche, von ebenen Flächen umschlossene Form der Mineralien.

Der Kristall verdankt seine Form der eigenen Substanz und den in ihm ruhenden Kräften. Wenn wir aus Glas die Form eines Bergkristalls herausschneiden und schleifen, so ist das Produkt trotz äußerlicher Gleichheit kein Kristall, denn das Glas hat diese Form nicht von sich aus angenommen. Ein weiterer grundsätzlicher Unterschied ist noch vorhanden: die Glasform bleibt unveränderlich, der Quarzkristall hat aber die Kraft, zu *wachsen*. Dieses Wachstum geht allerdings nicht in der Art des organischen Wachstums vor sich, indem sich zwischen die Elementarteilchen (die Zellen) des Körpers neue einschieben, sondern im Gegensatz dazu durch fortwährende Anlagerung neuer Moleküle von außen her (Abb. 37).

Stoßen nun infolge des Wachstums mehrere Kristalle aneinander, so hindern sie sich gegenseitig an ihrer weiteren ebenmäßigen Ausbildung. Sie sind nicht mehr von eigenen, sondern von fremden Flächen begrenzt; es entsteht auf diese Weise ein Aggregat, das man als *kristallinisch* oder *körnig* zu bezeichnen gewohnt ist. Der Marmor ist ein Beispiel für die kristallinische Ausbildung eines Minerals; er besteht aus lauter winzigen, miteinander verwachsenen Körnern von Kalkspat. Die Umgrenzung dieser Körner ist durch Zufälligkeiten bedingt, also nicht gesetzmäßig, während ihre physikalische Beschaffenheit dieselben Gesetzmäßigkeiten wie die der Kristalle aufweist.

Die Form der Kristalle ist abhängig von chemischen und physikalischen Verhältnissen. Unter gleichen Bedingungen kristallisiert ein bestimmter Körper auch stets in der gleichen Form, ja, er ist sogar imstande, bei Verletzungen diese unter gewissen Voraussetzungen auszuheilen. Wenn aber die physikalischen Bedingungen sich ändern, so können auch andere Formen entstehen, wie wir beim Schwefel später sehen werden.

Die den Kristall ringsum begrenzenden einzelnen *Kristallflächen* haben mitunter ein verschiedenes Aussehen. Häufig sind sie spiegelglatt und durchsichtig, häufig aber auch matt, rauh oder gestreift. Diejenigen Flächen am Kristall, die eine gleiche physikalische Beschaffenheit zeigen, die also entweder glatt oder nach einer und derselben Richtung gestreift sind, nennt man *gleiche Flächen*. Dabei berücksichtigt man niemals ihre Größe. Man pflegt wohl bei Zeichnungen und Modellen die gleichen Flächen auch gleich groß darzustellen, in der Natur sind solche ebenmäßigen Ausbildungen sehr selten, die Kristalle sind meistens infolge unregelmäßigen Wachstums *verzerrt* (Abb. 38). Wir müssen uns also bei kristallographischen Betrachtungen stets vor Augen halten, daß die Gleichheit der Flächen nur auf physikalische Verhältnisse Rücksicht nimmt. Dazu gehört außer den schon genannten auch die *Spaltbarkeit*, das heißt jene Eigentümlichkeit der Kristalle, nach gewissen Richtungen sich leicht teilen zu lassen. Steinsalz zum Beispiel, das in Würfeln kristallisiert, läßt sich auch nur nach den drei aufeinander senkrechten Richtungen spalten, nach anderen hingegen nicht.

Der *Würfel* des Steinsalzes ist zugleich ein Beispiel für eine einfache Kristallform, bei der alle Flächen physikalisch gleich sind. Eine andere einfache Kristallform ist das *Oktaeder*, eine Form, die aus acht gleichseitigen Dreiecken besteht (Abb. 39). Wird eine Kristallform von physikalisch verschiedenen Flächen begrenzt, so nennt man sie eine *Kombination*. Diese besteht aus Flächen, die verschiedenen einfachen Formen angehören. Unsere Figur (Abb. 40) zeigt die häufige Kombination von

Würfel und Oktaeder. Die quadratischen Flächen gehören einem Würfel an, die kleinen Pyramiden würden, vollkommen ausgebildet, ein Oktaeder ergeben.

Ist die Größe der Kristallflächen, wie wir schon hörten, ohne Bedeutung, so haben wir bei den Kristallen eine andere, stets feststehende Norm, das ist der zwischen zwei Flächen gelegene Kantenwinkel. Wenn man z. B. alle gleichartig ausgebildeten Kristalle des Bergkristalles messen und die zwischen gleichwertigen Flächen verschiedener Kristalle liegenden Kantenwinkel miteinander vergleichen würde, so

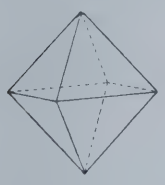
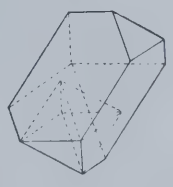


Abb. 38a und b.



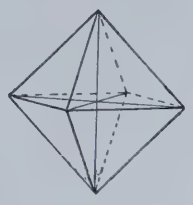


Abb. 39.

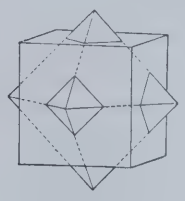


Abb. 40.

Abb. 38. Ein ebenmäßiger (a) und ein verzerrter Kristall. Abb. 39. Ein Oktaeder mit eingezeichneten Achsen. Abb. 40. Kombination zwischen Würfel und Oktaeder.

würde man stets dieselbe Winkelgröße finden, ganz gleichgültig, ob es sich um kleine oder große Kristalle, um ebenmäßige oder verzerrte Flächen handelt. Diese Konstanz der Kantenwinkel ist das Grundgesetz der Kristallographie, das allein es ermöglicht, sich in der Fülle der Kristallformen zurechtzufinden. Kalkspat und Dolomitspat sind beispielsweise außerordentlich ähnlich, auch hinsichtlich ihrer Spaltbarkeit. Mißt man aber mit einem Winkelmesser (Goniometer) den Winkel zwischen zwei Spaltflächen, so erhält man beim Kalkspat 105°, beim Dolomitspat $106\frac{1}{4}^{0}$, so daß auf diese Weise — ohne chemische Analyse — die beiden Mineralien einwandfrei unterschieden werden können.

Je nachdem, in welcher Weise die gleichen Winkel am Kristall verteilt sind, ist die Form des Kristalls verschieden. Daraus ergibt sich auch die mehr oder weniger stark ausgeprägte Symmetrie.

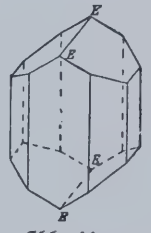


Abb. 41a.

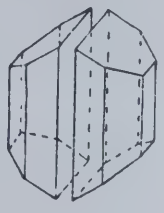


Abb. 41b.

Abb. 41a. Ein Kristall (Augit) mit einer durch *EEEE* gehenden Symmetrieebene. Abb. 41b. Derselbe Kristall, in der Richtung der Symmetrieebene durchgeschnitten. Es sind zwei spiegelbildlich gleiche Kristalle entstanden.

Kristalle können in verschieden starkem Maße Symmetrie zeigen. Der klarste Fall ist jener, daß ein Kristall durch eine Ebene (Symmetrieebene) in zwei spiegelbildlich gleiche Teile geteilt wird. Jeder Fläche und jedem Winkel der einen Hälfte entsprechen dann gleiche Winkel und Flächen der anderen Fläche. Eine Symmetrieebene veranschaulicht Abb. 41 und wir erkennen zugleich, daß es nicht möglich ist, den Kristall auf andere Weise, als geschehen ist, in zwei spiegelbildlich gleiche Teile zu zerlegen (Abb. 41a und b).

Es gibt Kristalle, durch welche man mehrere — und zwar bis höchstens neun — Symmetrieebenen legen kann, anderseits aber auch solche, die überhaupt keine Symmetrieebene haben.

Ein anderes Symmetrieverhältnis wird durch die Symmetrieachsen bezeichnet. Man denkt sich durch die Kristalle gerade Linien gezogen, die sich in der Mitte schneiden und zusammen ein sogenanntes Achsenkreuz bilden. Die Achsen stellt man so in den Kristall, daß sie Kanten parallel laufen. Nach der Form des Kristalls sind die Achsen entweder sämtlich gleich lang oder sie unterscheiden sich durch ihre Länge. Um die Achsen kann man die Kristalle drehen und man wird je nach der Symmetrie erkennen, daß eine relativ gleiche Stellung des Kristalls bei einer Drehung von 60°, von 90°, von 120°, von 180° oder von 360° zustande kommt. Danach unterscheidet man sechs-, vier-, drei- und zweizählige Symmetrieachsen (Abb. 42).

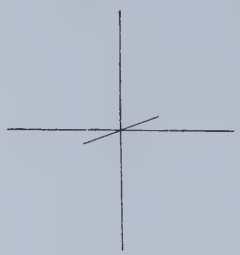


Abb. 42. Ein Achsenkreuz.

Außer den Symmetrieebenen und den Symmetrieachsen gibt es noch ein sogenanntes Symmetriezentrum, das allen denjenigen Kristallen zukommt, bei denen zu jeder Fläche eine parallele Gegenfläche auftritt, und schließlich gibt es Kristalle, die in sich zwar keine Symmetrieebene zeigen, die man aber durch Drehung um einen in 360° teilbaren Winkel in Spiegelstellung mit sich selbst bringen kann, so daß sich linke und rechte Formen unterscheiden lassen.

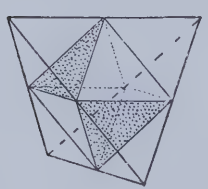


Abb. 43. Der Tetraeder ist der Halbflächner des Oktaeders. Die unterdrückten Flächen des Oktaeders sind punktiert.

Bisweilen kommt es vor, daß an einem Kristall nicht alle möglichen Flächen, sondern nur die Hälfte ausgebildet ist. Diese Erscheinung heißt Hemiedrie, die Formen heißen Halbflächner oder Hemieder. Das Hemieder des Oktaeders zum Beispiel ist das Tetraeder, das ja nur aus vier Flächen besteht (Abb. 43). Es ist klar, daß sich von jedem Vollflächner (oder Holoeder) zwei Halbflächner ableiten lassen, die dieselbe Form, aber verschiedene physikalische Eigenschaften aufweisen.

Seltener ist der Fall, daß an einem Kristall nur der vierte Teil der möglichen Flächen zur Ausbildung gelangt; die entstehenden Formen heißen Tetartoeder.

Aus den Symmetrieverhältnissen ergeben sich insgesamt 32 Kristallklassen, die in sechs Kristallsysteme zusammengefaßt werden.

Kristallographie ohne Modelle zu treiben, ist außerordentlich schwierig; da zudem die Kristallformen für den Laien wenig Bedeutung haben, beschränken wir uns auf einige wichtige Formen, die in Schemazeichnungen abgebildet werden.

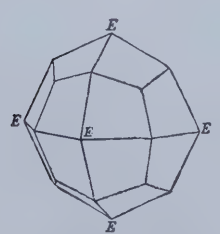


Abb. 44.

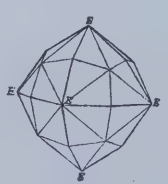


Abb. 45.

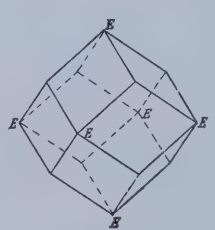


Abb. 46.

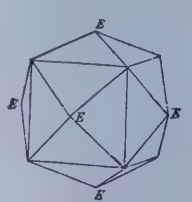


Abb. 47.

Abb. 44—47. Vier Kristallformen des Regulären Kristallsystems, die sich von dem Oktaeder ableiten, dessen Ecken *E* angegeben sind. Abb. 44. Ikositetraeder. Abb. 45. Achtundvierzigflächner (Diamant). Abb. 46. Rhombendodekaeder (Granat). Abb. 47. Pyramidenwürfel (Flußspat).

Reguläres Kristallsystem. Die Kristalle weisen drei gleiche, aufeinander senkrecht stehende Achsen auf. Neun Symmetrieebenen sind möglich.

Von den Holoedern ist das wichtigste das Oktaeder (Abb. 39), das von acht gleichseitigen Dreiecken begrenzt wird. Eine zweite Form ist das von 24 Vierecken begrenzte Ikositetraeder, dessen drei Achsen durch die Ecken E der Abb. 44 verlaufen. Von 48 ungleichseitigen Dreiecken wird der Achtundvierzigflächner (Abb. 45) begrenzt; seine Achsen gehen durch die Ecken E.

Abb. 48. Oktaeder mit Würfel (Bleiglanz).

Abb. 49. Oktaeder mit Rhombendodekaeder (Spinell).

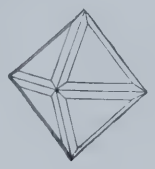


Abb. 50. Oktaeder mit Pyramidenoktaeder (Bleiglanz).

Abb. 51. Würfel mit Oktaeder (Bleiglanz.)

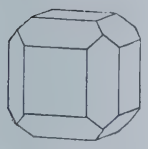


Abb. 52. Würfel mit Rhombendodekaeder (Flußspat).

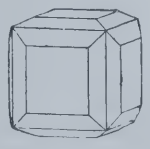


Abb. 53. Würfel mit Pyramidenwürfel (Flußspat).

Abb. 54. Rhombendodekaeder mit Würfel und Oktaeder.

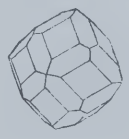


Abb. 55. Rhombendodekaeder mit Ikositetraeder.

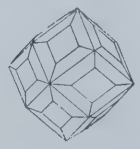


Abb. 56. Rhombendodekaeder mit Achtundvierzigflächner.

Eine beim Granat häufig vorkommende Kristallform ist das Rhombendodekaeder (Abb. 46), von zwölf Rhomben begrenzt, während der Pyramidenwürfel (Abb. 47) von 24 gleichschenkligen Dreiecken umgeben ist, die als Pyramiden auf den sechs Würfelflächen aufgesetzt sind.

Diese einfachen Formen können nun mit anderen zu sogenannten Kombinationen zusammentreten, von denen eine Anzahl auf den Abb. 48—56 zusammengestellt ist.

Von den hemiedrischen Formen sind Tetraeder (Abb. 57) und Pyritoeder oder Pentagondodekaeder mit der Begrenzung durch 12 Fünfecke am wichtigsten (Abb. 58). Auch sie treten in einigen Kombinationen auf.

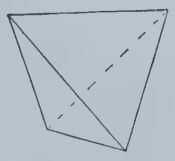


Abb. 57. Tetraeder.

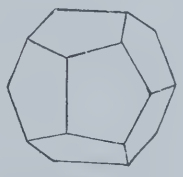


Abb. 58. Pentagondodekaeder.

Hexagonales Kristallsystem. Die hexagonalen Kristalle zeigen sieben Symmetrieebenen und ein Achsenkreuz, das außer einer Hauptachse drei in einer Ebene liegende Nebenachsen aufweist.

Eine einfache Form ist die Hexagonale Pyramide (Abb. 59) oder ihre Verdoppelung, die Dihexagonale Pyramide (Abb. 60). Während bei den Pyramiden die Kristallflächen zur Hauptachse geneigt liegen, verlaufen sie bei dem hexagonalen und dihexagonalen Prisma parallel zu ihr (Abb. 61 und 62).

Eine häufige hexagonale Kombination wird durch Prisma und zwei Pyramiden gebildet; sie ist die Kristallform des Quarzes (Abb. 63).

Hemieder sind im hexagonalen System häufig; am wichtigsten sind die Rhomboeder als Halbflächner der hexagonalen Pyramide (Abb. 64) und die Skalenoeder als Halbflächner der dihexagonalen Pyramide (Abb. 65).

Tetragonales (quadratisches) Kristallsystem. Die Kristalle zeigen fünf Symmetrieebenen und ein Achsenkreuz mit drei aufeinander senkrecht stehenden Achsen, von denen zwei gleiche Nebenachsen von der Hauptachse verschieden sind.

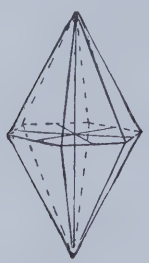


Abb. 59. Hexagonale Pyramide.

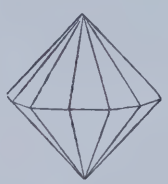


Abb. 60. Dihexagonale Pyramide.

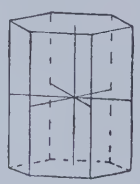


Abb. 61. Hexagonales Prisma.

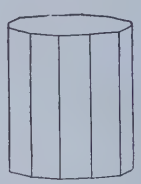


Abb. 62. Dihexagonales Prisma.

Abb. 63. Hexagonales Prisma und Pyramide.

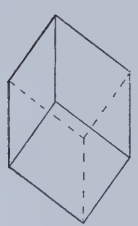


Abb. 64. Rhomboeder (Kalkspat).

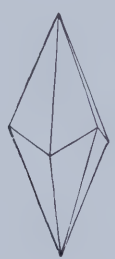


Abb. 65. Skalenoeder (Kalkspat).

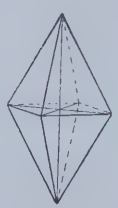


Abb. 66. Quadratische Pyramide.

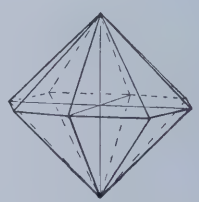


Abb. 67. Dioktaeder.

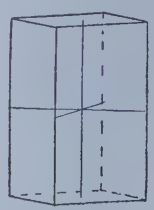


Abb. 68. Quadratisches Prisma.

Wie beim hexagonalen System haben wir hier Pyramiden, Dipyramiden, Prismen und Doppelprismen (Abb. 66—68) zu unterscheiden.

Auch die Kombinationen sind die entsprechenden, und als Hemieder entstehen Tetraeder, deren Flächen aber nicht, wie im regulären System, gleichseitige, sondern gleichschenklige Dreiecke sind.

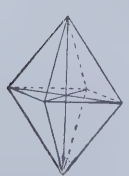


Abb. 69. Rhombische Pyramide.

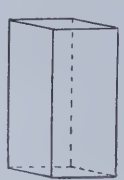


Abb. 70. Rhombisches Prisma

Rhombisches Kristallsystem. Die Kristalle zeigen drei Symmetrieebenen, das Achsenkreuz setzt sich aus drei ungleich langen, aufeinander senkrecht stehenden Achsen zusammen.

Einfache Formen sind die Rhombischen Pyramiden (Abb. 69) und die Rhombischen Prismen (Abb. 70) mit Unterformen.

Monoklines Kristallsystem. Die Kristalle zeigen eine Symmetrieebene; das Achsenkreuz besteht aus drei ungleichen Achsen, von denen zwei sich schiefwinklig schneiden, während die dritte auf beiden und auf der Symmetrieebene senkrecht steht.

Einfache monokline Formen kommen nicht vor, sondern nur Kombinationen.

Triklines Kristallsystem. Trikline Kristalle zeigen keine Symmetrieebene; ihr Achsenkreuz besteht aus drei ungleichen, zueinander schiefen Achsen.

Auch trikline Kristalle sind stets Kombinationen.

Bei den Kristallen kommen nun häufig Zwillingsbildungen vor, in der Weise, daß zwei oder mehr Kristalle miteinander gesetzmäßig, aber nicht parallel verwachsen. Diese Verwachsung bildet entweder Berührungs- oder Durchdringungszwillinge, je nachdem, ob sich die Kristalle nur in einer Ebene berühren oder ob sie sich durchkreuzen (Abb. 71 und 72). Die den beiden Zwillingen gemeinsame Ebene nennt man die Zwillingsebene.

B. Allgemeine physikalische Eigenschaften der Mineralien.

So wichtig die Erkennung der Kristallform für die Bestimmung eines Minerals auch ist, so kommen beim praktischen Arbeiten doch auch die physikalischen Eigenschaften in Betracht, denn häufig sind von dem zu untersuchenden Mineral nur Bruchteile vorhanden, die kristallographische Messungen nicht zulassen. Ein wichtiges Moment zur Bestimmung ist zunächst das

Spezifische Gewicht, das bekanntlich angibt, wievielmal schwerer ein Körper ist als die gleiche Menge Wasser. Seine Bestimmung ist verhältnismäßig einfach, wenn man sich der sogenannten Schwebemethode bedient. Man benutzt zu diesem Zwecke eine spezifisch schwere Flüssigkeit und gibt in diese einen möglichst homogenen Splitter des zu prüfenden Minerals, der zunächst auf der Oberfläche schwimmen wird. Verdünnt man die Lösung allmählich mit Wasser, so wird man bald einen Konzentrationsgrad erreicht haben, bei dem das Mineral gerade inmitten der Lösung schwebt, da beide jetzt das gleiche spezifische Gewicht aufweisen. Mittels einer hydrostatischen Wage kann man nun sofort das spezifische Gewicht der Lösung ablesen und hat mit ausreichender Genauigkeit damit auch dasjenige des Minerals bestimmt. Das spezifische Gewicht der meisten nichtmetallischen Mineralien liegt unter 3, das der metallischen zwischen 4 und 8. Gediegene Metalle haben ein spezifisches Gewicht zwischen 8 und 23. Da es durch Einschlüsse natürlich verändert wird, muß man bei nicht reinen Mineralien aus mehreren Ergebnissen das Mittel ziehen.

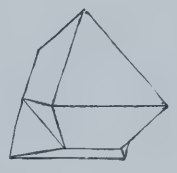


Abb. 71.
Berührungszwilling von zwei Oktaedern.

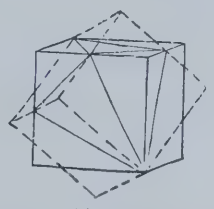


Abb. 72.
Durchkreuzungszwilling von zwei Würfeln.

Die Härte ist ebenfalls ein wichtiges Merkmal für die Bestimmung eines Minerals. Man versteht darunter den Widerstand, den die glatte Fläche eines Kristalls dem Eindringen einer darüber hinweggleitenden Spitze entgegensetzt. Zur genauen Feststellung der Härte hat man besondere Apparate — Sklerometer — konstruiert; für die praktische Bestimmung der Mineralien genügt die von Mohs aufgestellte Härteskala, die 10 Mineralien aufweist, nämlich:

1. Talk,
2. Gips,
3. Kalk,
4. Flußspat,
5. Apatit,
6. Feldspat,
7. Quarz,
8. Topas,
9. Korund,
10. Diamant.

Von diesen ritzt das eine Mineral immer das der nächst tieferen Stufe; Talk läßt sich leicht mit dem Fingernagel ritzen.

Allerdings ist diese Skala hinsichtlich der Härteunterschiede nicht gleichmäßig. Will man die Härte eines Minerals bestimmen, so sucht man aus der Härteskala jenes Stück heraus, mit dem man es ritzen kann. Kann es nur wenig geritzt werden, so ist die Härte die gleiche (z. B. Granat wie Quarz = 7), wird es von dem einen stark geritzt, während es das nächst weichere selbst ritzt, so steht es zwischen beiden, wie etwa Steinsalz mit seiner Härte von $2^1/_2$. Apatit hat die gleiche Härte wie Fensterglas; Mineralien mit geringerer Härte als 6 lassen sich mit dem Messer ritzen, die letzten drei Stufen der Skala werden als Edelsteinhärte zusammengefaßt.

Die **Spaltbarkeit** ist ebenfalls eine so ausgesprochene Eigenschaft gewisser Mineralien, daß sie für die Bestimmung stets herangezogen wird. Die Spaltbarkeit hängt von der Kohäsion, von dem Zusammenhang der Moleküle, ab, und zwar steht die Spaltfläche stets senkrecht zum Minimum der Kohäsion. Je ausgesprochener die Unterschiede der Kohäsion in einem Kristall sind, um so deutlicher ist seine Spaltbarkeit. Eine vollkommene Spaltbarkeit nach einer Richtung zeigt der Glimmer: man kann von ihm außerordentlich dünne Blättchen abspalten, die ja auch technisch verwendet werden. Steinsalz spaltet sehr deutlich nach den drei Richtungen des Raumes, so daß man beim Zerschlagen eines Würfels immer wieder Würfelstücke erhält. Beim Kalkspat entstehen kleine Rhomboeder, beim Spalten von Flußspat Oktaeder. Andere Mineralien haben eine weit geringere Spaltbarkeit, manche, wie der Quarz, lassen sie überhaupt kaum erkennen.

Zerschlagen wir ein solches Mineral, so entsteht keine glatte Spaltungsfläche, sondern ein

Bruch. Die Art, in der die Mineralien zerbrechen, ist ebenfalls für die Bestimmung charakteristisch. Sprengen wir z. B. von einem Feuerstein (Flint) ein Stück ab, so entsteht eine Bruchfläche, die Ähnlichkeit mit einer Muschel hat. Diesen muscheligen Bruch des Flints nutzten die Menschen der Steinzeit aus, indem sie durch vorsichtiges Schlagen aus den Feuersteinen ihre Waffen und Gerätschaften gewannen. Andere Mineralien haben einen splitterigen (Hornstein), einen hakigen (Silber) oder einen erdigen Bruch (Kreide).

Das Verhalten der Mineralien äußeren Eingriffen gegenüber wird als

Tenazität bezeichnet. Diese ist abhängig von der Kohäsion und von der Elastizitätsgrenze, das heißt von der Grenze, nach deren Überschreiten eine durch Druck, Zug oder Biegung bedingte Gestaltsveränderung auch nach Aufhören der Beanspruchung bestehen bleibt. Mineralien, die eine weite Elastizitätsgrenze haben, die sich also sehr stark biegen lassen, heißen elastisch biegsam (Glimmer), solche, die sich leicht biegen lassen, aber eine enge Elastizitätsgrenze haben, so daß sie in der neuen Stellung verharren, werden als nicht biegsam bezeichnet (Talk, Gips). Biegsame Körper mit enger Elastizitätsgrenze, aber sehr großer Kohäsion, nennt man dehnbar oder geschmeidig (Silber, Gold); sie lassen sich nicht zu Pulver zerstoßen. Enge Elastizitätsgrenze und geringe Kohäsion zeichnen schließlich die spröden Körper aus (Diamant, Quarz); diese sind sehr leicht zu pulverisieren.

Auch das Verhalten der Kristalle gegen das Licht ist in vielen Fällen so typisch, daß es zur Bestimmung eines Minerals herangezogen werden muß. Wichtig ist zunächst die

Oberflächenfarbe, das heißt die Farbe des vom Kristall zurückgeworfenen Lichtes. Sie hängt von der Beschaffenheit der Oberfläche ab und von dem spezifischen Vermögen des betreffenden Minerals, gewisse Lichtstrahlen zu verschlucken (absorbieren), das heißt, die Strahlen in Licht anderer Wellenlänge oder, was dasselbe ist, anderer Farbe zu verwandeln. Sind die Oberflächen des Kristalls glatt, so macht sich zumeist ein besonderer Glanz geltend. Man unterscheidet Metallglanz (bei undurchsichtigen Körpern: Bleiglanz, Schwefelkies), Diamantglanz (bei durchsichtigen, stark lichtbrechenden Körpern: Diamant, Bleiglas), Fettglanz (Quarz, Granat), Glasglanz (Steinsalz, Flußspat). Der Perlmutterglanz hat seine Ursache in winzigen, mit Luft erfüllten Rissen der Mineralien, der Seidenglanz, wie er bei manchen Halbedelsteinen (Katzenaugen, Tigeraugen) beobachtet wird, ist eine Folge von Lichtbeugung an faserigen Teilen.

Die **Durchsichtigkeit** der Mineralien ist ebenfalls ganz verschieden. Es gibt vollkommen durchsichtige, wie Diamant oder Bergkristall, trüb durchsichtige, wie Schwerspat, durchscheinende, wie Feuersteinsplitter, und undurchsichtige, wie Bleiglanz. Lassen wir Licht durch einen Kalkspatkristall gehen, so werden die Strahlen im Kristall doppelt gebrochen; Schrift erscheint also doppelt. Diese Doppelbrechung zeigen alle Kristalle, mit Ausnahme der regulären; sie ist eine der für die Untersuchung der Mineralien wichtigsten Eigenschaften, zu deren Erkennung man indessen besonderer Apparate, der sogenannten Polarisationsinstrumente bedarf. Was die

Farben der Mineralien anbelangt, so muß man streng unterscheiden, ob es sich um solche handelt, die der Mineralsubstanz eigentümlich sind, oder um solche, die auf fremde Beimengungen zurückgehen. Im zweiten Falle, bei den gefärbten Kristallen, ist die Farbe für die Erkennung unwesentlich, da sie häufig wechselt und von Zufälligkeiten abhängt. Für die farbigen Mineralien dagegen ist die Farbe sehr wesentlich; erinnert sei nur an das Grau des Bleiglanzes, an das Weiß des Silbers, an das Rot des Kupfers oder an das Blau der Kupferlasur.

Diese Farbe eines kristallisierten oder derben Minerals ist mitunter wesentlich verschieden von der Farbe des gepulverten Minerals, die man erhält, wenn man mit demselben über eine rauhe Porzellanplatte streicht. Meist ist die Farbe dieses Strichs heller als die des Minerals; bisweilen hat sie auch ganz andere Tönungen. So sind die Kristalle des Schwefelkieses gelb, ihr Strich schwarz, der Eisenglanz ist schwarz gefärbt, sein Strich rot, die grüne bis braune Hornblende zeigt eine weiße oder graue Strichfarbe.

Eine besondere Erscheinung ist auch der Dichroismus vieler Mineralien, das heißt, ihre verschiedene Färbung beim Durchsehen in verschiedenen Richtungen. Zum Studium dieses Verhaltens, das bei regulären Kristallen und amorphen Körpern niemals zu beobachten ist, benötigt man die sogenannte Haidingersche Lupe.

C. Allgemeine chemische Eigenschaften der Mineralien.

Nach Prüfung der physikalischen Eigenschaften hat man, falls diese zur Erkennung eines Minerals nicht ausreichen oder falls es darauf ankommt, die genaue stoffliche Zusammensetzung eines Minerals kennen zu lernen, die chemische Untersuchung vorzunehmen. Da die Mineralien von uns als die natürlich vorkommenden chemischen Verbindungen definiert worden sind, gelten für ihre chemische Untersuchung dieselben Maßnahmen wie für die Analyse von Chemikalien; wir können auf die Arbeitsmethoden deshalb an dieser Stelle nicht eingehen.

Eine genaue chemische Untersuchung wird nur dann notwendig sein, wenn es sich darum handelt, die Reinheit eines Minerals oder die genaue zahlenmäßige Verteilung seiner Bestandteile festzustellen; für die Bestimmung des Minerals genügen zumeist, wenn seine physikalischen Verhältnisse noch nicht eindeutig Aufschluß gegeben haben, einige chemische Vorproben. Man prüft, ob das Mineral in Wasser löslich ist oder nicht, von welchen Säuren (Salz-, Schwefel-, Salpetersäure) es angegriffen wird, ob es dabei infolge von Gasentwicklung aufbraust, ob es leicht oder schwer schmelzbar ist, ob es beim Erhitzen Wasser abgibt und wie es sich vor dem Lötrohr verhält.

Namentlich das Lötrohr ist ein wichtiges Instrument zur Mineralbestimmung. Durch Hineinblasen von Luft (Sauerstoff) mittels des Lötrohrs wird die Temperatur einer Flamme erhöht und die Flamme selbst auf das Mineral hingelenkt. Je nachdem, wie man das Lötrohr gebraucht, kann man entweder eine Oxydation (Zuführung von Sauerstoff) oder eine Reduktion (Entziehung von Sauerstoff) des Minerals hervorrufen und aus den Farbänderungen auf seine stoffliche Zusammensetzung wichtige Schlüsse ziehen.

Ein anderes Hilfsmittel ist das Zusammenschmelzen eines Stückchens des zu untersuchenden Minerals mit Soda auf Holzkohle. An dem entstehenden Rauch, an dem feinen, sich rings um das Mineral bildenden Beschlag oder an dem zusammenschmelzenden Metallkorn kann man gewisse Mineralien unzweideutig erkennen.

Auch das Zusammenschmelzen von etwas Pulver des betreffenden Minerals mit Borax an der Öse eines Platindrahtes gibt durch Färbung der Flamme gute Anhaltspunkte für die Bestimmung gewisser Mineralien, wie überhaupt die Flammenfärbung häufig gestattet, selbst die geringsten Mengen eines Stoffes einwandfrei nachzuweisen.

Eine Einteilung der Mineralien nach den Kristallformen ist nicht möglich, da es eine Anzahl von Mineralien gibt, die bei ganz gleicher stofflicher Zusammensetzung in verschiedener Form kristallisieren; man nennt diese Eigenart Dimorphismus; mit ihr sind auch meist andere physikalische Verschiedenheiten verbunden. Kohlenstoff ist beispielsweise als Diamant hart, durchsichtig und regulär kristallisierend, als Graphit weich, undurchsichtig und monoklin.

Anderseits können auch verschiedene Mineralien eine analoge chemische Zusammensetzung und eine ähnliche Kristallform aufweisen. Solche isomorphe Mineralien kristallisieren häufig zusammen und bilden dann isomorphe Mischungen.

III. Die wichtigsten Mineralien.

In der nachstehenden Übersicht, die keinerlei Vollständigkeit erstrebt, werden die Mineralien nach chemischen Gesichtspunkten geordnet, und zwar so, daß zunächst die als Element auftretenden Mineralien behandelt werden, dann die als Salze von Säuren vorkommenden. Diese letzteren werden unter der betreffenden Säure zusammengefaßt. Während die rein mineralogischen Bemerkungen eingeschränkt werden, sollen die technische Verwendung der Mineralien und ihre Bedeutung für die Kultur stärker betont werden.

A. I. Klasse: Elemente.

a) Geschmeidige Metalle.

Gold (Aurum, chemisches Symbol Au). Das Gold, seit Urzeiten das begehrteste Metall der Menschheit, findet sich in der Natur fast ausschließlich in gediegenem Zustande, zumeist mit Silber zusammen in einer bis 50% goldhaltigen Legierung. In Spuren ist es weitverbreitet in Eisenkies und in anderen Erzen.

Das gediegene Gold kristallisiert regulär; seine Kristallformen sind vielgestaltig, häufig auch skelettförmig, moos- oder blechartig. Zumeist kommt das Gold aber in Form von Flittern, Blättchen oder Klumpen (Nuggets) vor. Die an sich goldgelbe Farbe wird um so lichter, je mehr Silber das Gold enthält, Legierungen mit mehr als 20% Silber nennt man Elektrum. Da Gold nicht oxydiert, weist es stets eine frische, glänzende Oberfläche auf. Sein spezifisches Gewicht liegt zwischen 16 und 17, seine Härte ist dagegen gering ($2^1/_2$—3). Die außerordentlich große Geschmeidigkeit erlaubt das Auswalzen zu Blattgold. Das Gold ist auch seinem chemischen Verhalten nach der König der Metalle: nur von einem Gemisch von Salpetersäure und Salzsäure, dem Königswasser, wird es gelöst.

Was das natürliche Vorkommen anbelangt, so findet sich Gold entweder auf seiner ursprünglichen Lagerstätte, besonders in Quarzgestein, eingewachsen, als Berggold oder in sogenannten Seifen. Wenn nämlich die Gesteine verwittern, werden durch das fließende Wasser neben den Gesteinsbrocken auch die Plättchen und Körnchen des Goldes hinweggeführt, um an anderen Stellen wieder abgesetzt zu werden. Dieses Seifengold, das den weitaus größten Teil des gewonnenen Edelmetalls ausmacht, wird durch Auswaschen der Flußablagerungen gewonnen (Abb. 73).

Auch in Deutschland findet sich solches Gold in den Sanden vieler Flüsse. Die Sage vom Rheingold geht sicherlich auf einst reichliche Funde im Rhein zurück; in der Donau und ihren alpinen Nebenflüssen ist Gold früher gewonnen worden. In der Schwarza wurde bis in unsere Zeit so viel Gold durch Schlämmen erbeutet, daß die Mitglieder des Schwarzburgischen Fürstenhauses ihre Trauringe aus heimatlichem Gold schmieden lassen konnten. Überhaupt weisen manche Namen

im Thüringer- und Frankenwald — so Goldlauter und Goldkronach — auf alten Goldbergbau hin. Auf primärer Lagerstätte, in Form von Goldquarzgängen, treffen wir Gold in den Zentralalpen (Mte. Rosa, Zillertal) und in den Hohen Tauern an. Auch im Ural findet es sich, wenn es auch hier, wie in Sibirien, zumeist auf Seifen gewonnen wird.

In Afrika sind Äthiopien und die Goldküste seit alters ausgebeutet worden; die sagenhaften Schätze des Goldlandes Ophir, das jedenfalls Abessinien ist, sind das Ziel zahlreicher Entdeckungsfahrten des Altertums gewesen. Seit 1871 werden die Lagerstätten am Witwatersrand in Transvaal ausgebeutet; sie stellen das größte Goldgebiet der Erde dar.

Auch in Australien liegen ausgedehnte Goldfelder, die seit 1851 abgebaut werden. Der Hauptreichtum konzentriert sich auf einen etwa 3 qkm großen Raum, die „goldene Meile", wo das Gold z. T. in schmutzigerdigen Aggregaten (Senfgold) oder in schwammigen Massen (Schwammgold) auftritt.

In Amerika gewinnen die Vereinigten Staaten viel Gold; am wichtigsten sind die Vorkommen in der Sierra Nevada von Kalifornien. Der reichste Goldgang der Welt war dort der Comstock-Lode. In Alaska wurden am Ausgang des vorigen Jahrhunderts die berühmten Goldfelder im Gebiet des Yukon und Klondyke entdeckt, auch in den südamerikanischen Staaten hat die Goldgewinnung eigentlich erst in den letzten Jahrzehnten eingesetzt, während in Mexiko schon seit vielen Jahrhunderten Gold gewonnen worden ist.

Der Wert der gesamten Jahresproduktion an Gold betrug in den letzten Vorkriegsjahren rund 2 Milliarden Mark; davon stammten dreiviertel aus den englischen Kolonialländern. Fast das gesamte unbearbeitete Gold geht zunächst nach London, wo es zu Barren umgeschmolzen wird. Die Barren werden entweder zu Münzen ausgeprägt oder von der Industrie verarbeitet (Goldschmiedearbeiten, Zahnersatz). Bei Schmuckstücken wird der Goldgehalt gewöhnlich in Karat angegeben. Ein Karat — der Name bezeichnet ursprünglich den leichten Samen des Johannisbrotbaumes — ist 0,205 g schwer; 1 Karat ist der 24. Teil der Gewichtseinheit. 24karätiges Gold ist deshalb reines Gold, 18karätiges enthält in 24 Teilen Legierung 18 Teile Gold. Bei Münzen wird der Goldgehalt in Tausendstel angegeben.

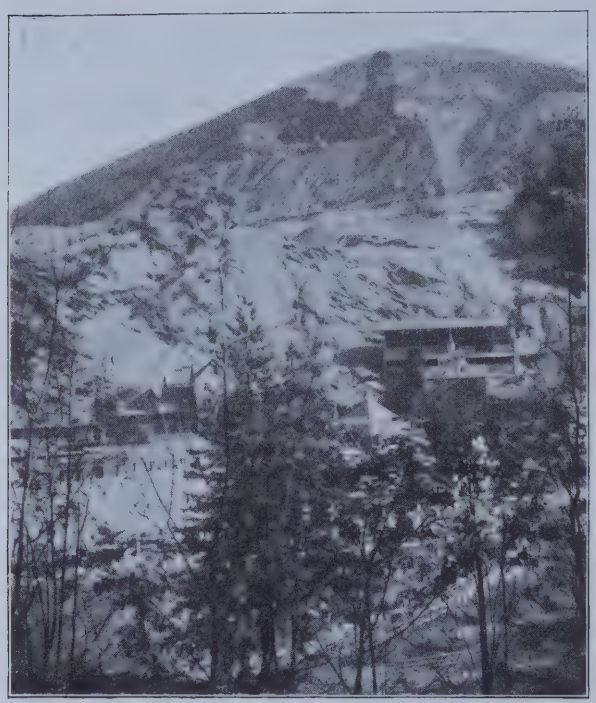
Wenn auch das Gold die sicherste Grundlage für eine Währung darstellt, so haben doch die letzten Jahrzehnte mit ihrer hohen Goldproduktion eine Entwertung des Goldes mit sich gebracht, die im Ansteigen der Preise für Waren ihren Ausdruck gefunden hat. Ein Vermögen unserer Eltern hatte eine bedeutend größere Kaufkraft als ein gleich hohes in der Jetztzeit. Solche Weltmarktsteigerung ist streng zu unterscheiden von einer Inflation durch Einführung geringwertiger Zahlungsmittel.

Silber. Wie das Gold, so kommt auch das Silber (Argentum, chem. Symbol Ag) gediegen vor und zwar in Oktaedern oder in Baum- und Drahtform. Seine Farbe ist an sich weiß, doch läuft das Silber an der Oberfläche infolge Bildung von Schwefelsilber bräunlich an; es wird im Gegensatz zu Gold von allen stärkeren Säuren gelöst.

Abb. 73. Die goldhaltige Erde wird in einem Holzgerinne gespült, an dessen Querreifen das spezifisch schwere Gold hängen bleibt, während der leichtere Sand mitgerissen wird.

Silber tritt hauptsächlich in Form von Silbererzen, also von Verbindungen auf. Die wichtigsten sind: Goldsilber, von den Alten Elektrum genannt, Silberglanz, die Verbindung mit Schwefel (Ag_2S), Dunkles Rotgüldigerz, eine Verbindung des Silbers mit Schwefel und Antimon ($3Ag_2S \cdot SbS_3$) von dunkler Farbe, aber kirschrotem Strich, Lichtes Rotgüldigerz, das an Stelle des Antimons Arsen enthält, und Fahlerz, das eine Verbindung verschiedener Schwermetalle mit Schwefel, Arsen und Antimon ist. Außerdem wird Silber auch aus anderen Erzen gewonnen, die das Edelmetall in abbauwürdiger Menge enthalten, wie Bleiglanz und Zinkblende.

Das Silber findet sich zumeist auf Erzgängen im Gebirge. Als Folge gebirgsbildender Vorgänge, die später ausführlich behandelt werden, bildeten sich im Gestein Risse und Spalten, in die dann heiße Lösungen von Mineralien eindrangen. In den Rissen wurden nun aus diesen die gelösten Mineralien abgesetzt, und zwar so lange, bis die Spalte völlig ausgefüllt, „ausgeheilt" war. Der Niederschlag der Lösungen geschah von den Seiten aus, so daß man in der Mitte des fertigen Ganges häufig eine deutliche „Zuwachsnaht" beobachten kann. Änderte sich während der Ausfüllungsperiode der Mineralbestand der Lösung, so entstanden verschiedene Lagen im Rahmen des Ganges. So bestehen die Erzgänge nicht nur aus dem allein wertvollen „Erzmittel", sondern zum großen Teil auch aus erzfreiem oder taubem Gestein, der sogenannten Gangart. Wichtige Gangarten sind Quarz, Kalkspat, Flußspat, Schwerspat.



Phot. Dr. C. W Schmidt.

Abb. 74. Die Halden des Rammelsberges bei Goslar, in dem seit 1000 Jahren Silbererze abgebaut werden.

Wenn solche Erzgänge die Erdoberfläche erreichen, liegt das edle Metall offen zutage. Solche zufälligen Funde eröffnen dann häufig einen ergiebigen Bergbau, so am Rammelsberg bei Goslar, wo im Jahre 946 ein scharrendes Pferd der Sage nach die erste Erzstufe zum Vorschein brachte und wo noch heute ein einträglicher Bergbau betrieben wird (Abb. 74). Solange man die oberflächlichen Teile eines Ganges abbaut, ist die Gewinnung des Erzes einfach; schwieriger gestaltet sich der Abbau, wenn man, dem Gange folgend, in die Tiefe steigen muß, weil das eindringende Wasser die Arbeit stört. Es ist interessant, daß gerade die Silbererzfunde im Oberharz die Entwicklung des gesamten Bergbaues bedingten, und noch heute kann man dort die Gewinnung des Erzes beobachten. Das gewonnene Material wird sortiert, das taube Gestein auf die Halden geschüttet, das erzhaltige in Pochwerken zerkleinert und nach verschiedenen Reinigungsprozessen verhüttet.

Das Hauptausfuhrland für Silber ist Amerika. In Mexiko werden 35% der ganzen Weltproduktion gewonnen, in Peru und Bolivien täfelte man früher die Wände der Kirchen mit Silberplatten. Australien besitzt reiche Silberschätze in den Minen von Broken Hill, während in Asien das Edelmetall seltener vorzukommen scheint. Afrika hat für die Weltproduktion vorläufig keine Bedeutung, und von den europäischen Vorkommen sind nur noch die spanischen ergiebig genug, während die einst so reichen Schätze des Harzes und Erzgebirges einen eigentlichen Silberbergbau nicht mehr lohnen. Hier wird das Metall nur noch als Nebenprodukt gewonnen.

Infolge des wachsenden Angebotes ist der Preis des Silbers immer mehr gesunken. Kostete im 16. Jahrhundert 1 kg 260 Mark, erhielt man vor dem Kriege die gleiche Menge für 70 Mark, zahlte man 1785 für 1 kg Gold 15,5 kg Silber, so muß man jetzt mehr als 40 kg dafür geben. Namentlich im Laufe der letzten 50 Jahre hat das Silber an Wert sehr stark eingebüßt. Die Jahresproduktion hatte 1850 mit 885000 kg einen Wert von 370 Millionen Mark, im Jahre 1909 wurden 6,6 Millionen kg gefördert, deren Wert indessen nur 460 Millionen Mark betrug.

Phot. Uppenborn.

Abb. 75. Erzscheidung im Schacht Kaiser Wilhelm II. bei Clausthal, 769 m unter Tage.

Durch diese Entwertung hat das Silber seine Bedeutung als internationales Zahlungsmittel verloren, wenn nicht Vereinbarungen zwischen einzelnen Ländern ein ganz bestimmtes Wertverhältnis für die im Umlauf befindliche Silbergeldmenge zum Goldwert festsetzen.

Kupfer (Cuprum, Cu). Gediegenes Kupfer ist in größerer Menge auf der Erde vorhanden als irgendein anderes Metall. Es diente deshalb schon dem vorgeschichtlichen Menschen der Bronzezeit als Ausgangsmaterial für die Herstellung seiner Waffen und Werkzeuge. Es tritt in Form von Klumpen, von baumförmigen Aggregaten oder auch von regulären Kristallen (Oktaedern) auf; seine hellrote Farbe wird häufig durch Oxydation verändert.

Metallisches Kupfer findet sich im Ural und am Südufer des Oberen Sees in Nordamerika, wo Blöcke von 15000 Zentner Gewicht vorgekommen sind. Die Hauptmenge des Kupfers wird indessen aus Erzen gewonnen; von diesen sind die wichtigsten: Kupferglanz (Kupfersulfid, Cu_2S), das in schwarzen, körnigen Massen auftritt, messinggelber Kupferkies (Kupfersulfid und Eisensulfid, $Cu_2S.Fe_2S_3$), das häufigste Kupfererz, ferner Buntkupferkies, der im frischen Bruch rotbraun, sonst bunt angelaufen aussieht und eine ähnliche chemische Zusammensetzung wie Kupferkies hat, und grüner Malachit, ein Kupferkarbonat mit Kupferhydroxyd ($CuCO_3.Cu(OH)_2$), der im Ural in großen nierenförmigen Massen vorkommt. Da diese im Innern aus konzentrischen dunkelgrünen Schalen zusammengesetzt sind, geben sie in geschliffenem Zustand prachtvolle Tafeln. Als

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin

Abb. 76. Großer Kupfererz-Tagebau in mehreren Stockwerken bei Rio Tinto in Spanien.

Geschenke des russischen Zaren kann man solche Malachitplatten in fast allen europäischen Fürstenschlössern bewundern. Im übrigen ist auch die Patina, der sich durch Einwirkung des kohlensäurehaltigen Regenwassers auf Kupferdächern bildende Edelrost, chemisch nichts anderes als ein feiner Überzug von Malachit.

Außer in Gängen kommt das Kupfer auch in mächtigen Lagern vor, so am Rammelsberg bei Goslar, wo zwischen die alten Schiefergesteine eine 15—30 cm dicke Erzmasse eingeschaltet ist, die aus Kupferkies, Schwefelkies, Bleiglanz und anderen Erzen besteht. Ebenfalls ist noch heute von Bedeutung der Abbau von Kupferschiefer am Ostrande des Harzes, bei Mansfeld und Hettstedt. Hier ist das Kupfer in Form winziger Körnchen und Stäubchen in einer nur 50 cm dicken Tonschieferschicht verteilt, und zwar jedenfalls infolge einer nachträglichen Imprägnation. In der Sonne flimmern diese Metallflitter, und namentlich die in großer Menge im Schiefer eingebetteten versteinerten Fische sind ganz in Kupferkies umgewandelt. Das Erz, welches zu 2—3% dem Gestein beigemengt ist — auf 100 kg Kupfer entfällt außerdem noch $^1/_2$ kg Silber —, wird durch Rösten gewonnen, der Wert des erbeuteten Kupfers betrug vor dem Krieg jährlich etwa 25 Millionen Mark.

Von den 900000 t Weltproduktion entfallen auf Amerika (Montana, Arizona, Utah) 60%, auch Kanada, Mexiko und namentlich Chile liefern bedeutende Mengen. Japan beginnt seit einiger Zeit mit einem ergiebigen Kupferbergbau, und im Kongostaat harren ungeheuere Lager der Erschließung. Von europäischen Vorkommen sind wichtig die Kupfergebiete des südspanischen Huelvagebietes.

Die jährliche Gesamtausbeute an Kupfer, das als vorzüglicher Wärme- und Elektrizitätsleiter vielfach in der Technik Verwendung findet und dessen Legierungen Bronze (Kupfer und Zinn) und Messing (Kupfer und Zink) ebenfalls eine hohe praktische Bedeutung haben, ist in starkem Steigen begriffen. 1907 wurden 700000 t produziert, 1912 1100000 t; der Preis betrug vor dem Kriege etwa 1500 Mark für die Tonne.

Platin (Pt). Das metallglänzende, graue, sehr dehnbare Platin kommt in Blättchen und Körnern vor und ist meistens durch andere seltene Metalle verunreinigt. Seine Härte beträgt 5, sein spez. Gewicht 21.

Von der Weltproduktion (7000 kg) entfallen $^5/_6$ auf Rußland, wo es an zahlreichen Stellen des erzreichen Urals auftritt. Hier und in Amerika (Union, Mexiko, Brasilien, Kolumbien) findet es sich wie das Gold auf Seifen. Wegen seiner großen Widerstandsfähigkeit gegen Säuren wird es zur Herstellung chemischer Gerätschaften verwendet; auch Schmuckstücke werden daraus hergestellt, da Platin teurer als Gold ist; besonders als Fassung für Brillanten ist das Edelmetall beliebt geworden.

Quecksilber (Hydrargyrum, Hg). Das Quecksilber ist das einzige flüssige Metall. Es findet sich gediegen in Form kleiner Tröpfchen, zumeist aber in Verbindung mit Schwefel als Zinnober (HgS) bei Idria in Krain, bei Almaden in Spanien und in Kalifornien. Mit Silber verbindet es sich zu natürlichem Amalgam, das regulär kristallisiert; da es auch mit Gold sehr leicht ein Amalgam bildet, benutzt man es, um fein verteiltes Gold aus Gesteinen zu gewinnen. Die Weltproduktion beträgt rund 4000 t. Technisch verwendet wird das Quecksilber zu Thermometer- und Barometerfüllungen sowie als Spiegelbelag. Zinnober — allerdings meist künstlich hergestellter — wird als rote Farbe vielfach gebraucht.

Eisen (Ferrum, Fe). Eisen tritt in gediegenem Zustand fast nur in den Meteoriten auf; in Verbindungen ist es dagegen sehr verbreitet. Zur technischen Gewinnung des Eisens kommen indessen nur wenige der zahlreichen eisenhaltigen Mineralien in Betracht, nämlich Magneteisen, Eisenglanz, Brauneisenerz und Eisenspat, die 72%, 70%, 60% und 48% Eisen enthalten.

Eisen kristallisiert regulär, wird jedoch nie in Kristallen, sondern nur derb und zwar in bis zu Hunderte von Zentnern schweren Blöcken gefunden. Gediegenes Eisen ist vollkommen spaltbar, zäh und zeigt hakigen Bruch. Im frischen Zustand ist es metallglänzend und stahlgrau, seine Härte beträgt 4.

Gediegenes, von der Erde stammendes Eisen ist entweder durch Reduktion von Eisenerzen oder durch Abscheidung aus Eruptivgesteinen entstanden. Weit häufiger ist das meteorische Eisen, das wir schon früher (vgl. S. 97) kennen gelernt haben.

Die Roheisenproduktion der gesamten Erde beträgt jährlich etwa 65 Millionen Tonnen. Die Roheisen produzierenden Länder sind auf Erzzufuhr angewiesen; so bezieht Deutschland Eisenerz aus Skandinavien. Die Gewinnung des Eisens geht im Hochofen vor sich, während man im Mittelalter die Eisenerze auf kleinen mit Holzkohle gefeuerten Herden zum Schmelzen brachte.

Das Eisen hat unserem Zeitalter so sehr den Stempel aufgedrückt, daß man über seine Bedeutung und seine vielfache technische Verwendung nichts Näheres auszuführen braucht. Die technische Darstellung des Eisens im Hochofenprozeß wird im IV. Bande genauer beschrieben werden.

b) Nichtmetalle.

Schwefel (Sulfur, S). Der Schwefel kristallisiert rhombisch in prachtvollen gelben Kristallen (Abb. 77) oder kommt in derben, verunreinigten Massen vor. Seine Härte und sein spezif. Gewicht sind 2; er ist spröde und verbrennt mit bläulicher Flamme zu stechend riechendem Schwefeldioxyd. Gediegener Schwefel findet sich zumeist in der Nähe tätiger oder erloschener Vulkane; die Vorkommen in Sizilien (Girgenti, Caltanisetta, Palermo, Catania) deckten 1900 mit einer jährlichen Ausbeute von etwa 600000 t Schwefel fast den gesamten damaligen Weltbedarf. Seit 1901 produzieren noch Louisiana, Texas und Kalifornien Schwefel (zusammen 300000 t), auch Japan beutet jährlich 700000 t Schwefel aus. Geringe Schwefelmengen bilden sich in Schwefelquellen oder Solfataren.

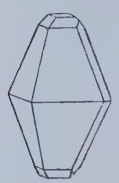


Abb. 77. Kristallform des Schwefels.

Schwefel dient zur Herstellung von Schießpulver, zum Härten (Vulkanisieren) des Kautschuks und zur Bekämpfung von Pflanzenschädlingen (Ausschwefeln und Desinfizieren).

Diamant. Der Diamant ist chemisch reiner Kohlenstoff; er kristallisiert regulär in Oktaedern, Würfeln oder Achtundvierzigflächnern. Diamant ist der härteste Körper; da er spröde ist und deutliche Spaltbarkeit zeigt, ist er indessen leicht zu zerstoßen. Im Flammenbogen verbrennt er vollständig zu Kohlendioxyd.

Abb. 78. Die Diamantmine von Kimberley. Eine Melaphyrdecke und die obersten Schichten sind durch eine vulkanische Explosion durchschossen. Die diamantführende Füllmasse des Vulkanschlotes ist durch den Bergbau wieder ausgeräumt worden.

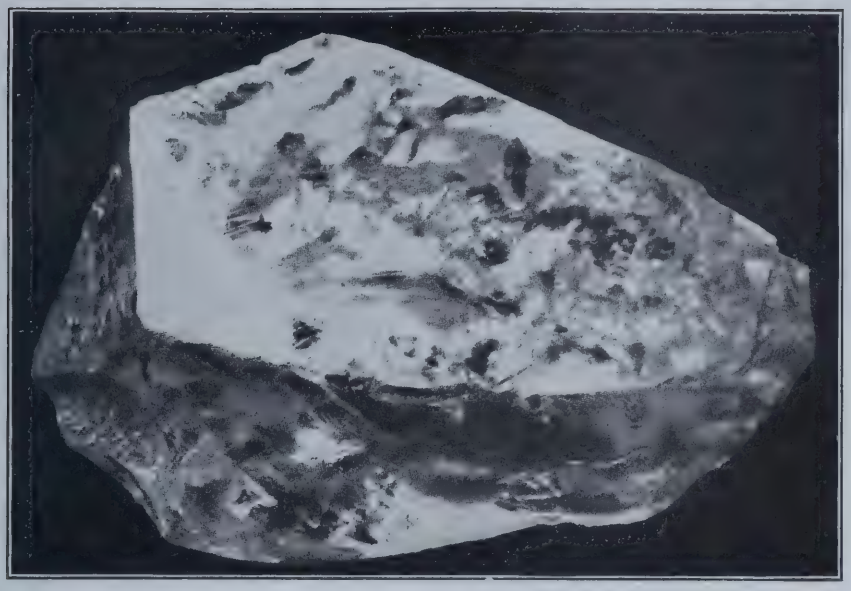


Abb. 79. Der Cullinan-Diamant (3024 Karat schwer). Bruchstück eines etwa 4 mal so großen Oktaeders, gefunden in der Premier Mine im Jahre 1905.

Der Wert des Diamanten hängt von seinem Glanze („Feuer") und seiner Reinheit („Wasser") ab (Abb. 79). Um das Feuer zu verstärken, werden die Diamanten geschliffen und zwar entweder in Brillantform oder in Rosettenform. Brillanten werden frei, à jour, gefaßt, die weniger wertvollen Rosetten erhalten eine Unterlage (Folie). Das Gewicht wird nach Karat gemessen. Unreine Diamanten dienen als Schleifmittel, als Bohrkranz für Gesteinsbohrer und zum Glasschneiden.

Als Hauptmarkt für Diamanten gilt London, während Amsterdam seit Jahrhunderten der Sitz der Brillantschleiferei ist.

Diamanten werden seit den ältesten Zeiten in Indien gefunden; die Funde von Golkonda bei Haidarabad im Dekhan und die Vorkommen in Brasilien sind indessen durch die Ausbeute der südafrikanischen Diamantengruben von Kimberley weit überholt worden, wo die Edelsteine in erster Linie durch die De Beers-Gesellschaft abgebaut werden. Die Diamanten lagern dort im Blaugrund, einem zersetzten vulkanischen Gestein, das die Röhren früherer Vulkanschlote erfüllt. Der losgesprengte Blaugrund wird dann mehrfach gewaschen; etwa 2—40 Millionen Teile Blaugrund ergeben einen Teil Rohdiamanten (Abb. 78 und 80).

Die Kapdiamanten sind weniger wertvoll als die indischen, da sie häufig im Laufe der Jahre erkranken, das heißt, infolge kleiner Risse an Glanz und Feuer einbüßen.

Auch an der Küste Südwestafrikas, bei Lüderitzbucht, wurden Diamanten gefunden, und zwar 1910 800000 Karat für 21 Millionen Mark. Da sich die Diamanten aber auf sekundärer Lagerstätte befinden, ging die Diamantengräberei bald wieder zurück.

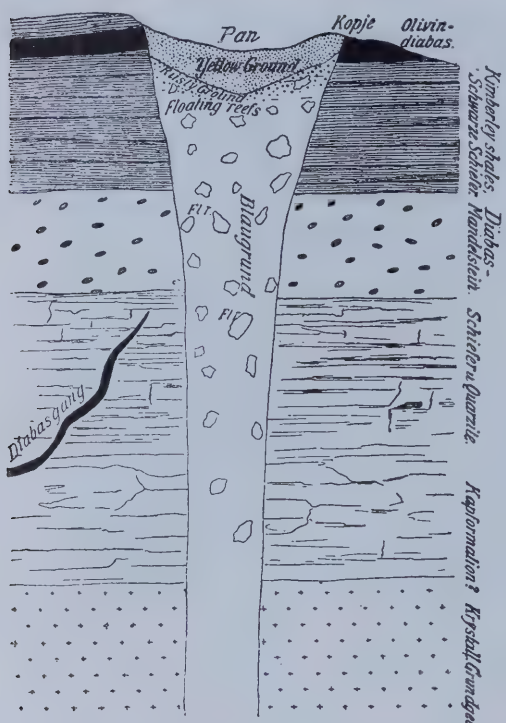


Abb. 80. Längsschnitt durch einen diamantenführenden Blaugrundtrichter bei Kimberley in Südafrika. Die Röhre ist durch eine Eruption ausgeblasen und dann wieder mit Magma ausgefüllt worden. Aus dessen Zersetzung entstand der Blaugrund. Die Floating reefs sind große Blöcke unzersetzten vulkanischen Gesteins (nach Gürich).

Graphit. Graphit ist wie Diamant reiner Kohlenstoff, er hat aber ganz andere Eigenschaften. Er ist undurchsichtig, metallisch glänzend, schwarz gefärbt und besitzt nur die Härte 1.

Bei Pfaffenreuth, nördlich von Passau, findet sich reichlich Graphit, weiterhin in Böhmen, während die Cumberländer Vorkommen, welche die englische Bleistiftindustrie begründeten, erschöpft sind. Der von A. W. Faber, Nürnberg-Fürth, verarbeitete Graphit stammt aus Ostsibirien, namentlich aus dem Sajanischen Gebirge. Auch Amerika, Ceylon und Japan liefern Graphit, dessen unreine Varietäten zur Herstellung von feuerfesten Tiegeln und von Ofenschwärze dienen.

B. II. Klasse: Schwefelverbindungen.

Da Schwefel eine große chemische Verwandtschaft mit Metallen zeigt, sind Schwefelverbindungen häufig; aus ihnen werden die Metalle durch Rösten gewonnen. Man unterscheidet die undurchsichtigen hellen Kiese (Beispiel: Schwefelkies), die undurchsichtigen dunklen Glanze (Beispiel: Bleiglanz) und die durchsichtigen oder durchscheinenden Blenden (Beispiel: Zinkblende).

Bleiglanz (Schwefelblei, PbS) ist mit 86,6% Bleigehalt das wichtigste Bleierz. Bleiglanz ist stark glänzend, blaugrau gefärbt und kristallisiert regulär in Würfeln und Oktaedern oder in einer Kombination von beiden. Als derbes Erz ist er auf Erzgängen sehr weit verbreitet; in Deutschland findet er sich hauptsächlich im Harz, im Taunus, in Westfalen und im Erzgebirge. In der Eifel kommt er in Form kleiner Körner im Buntsandstein vor (sog. Knottenerz). Bleiglanz enthält zumeist etwas Silber und wird dadurch gleichzeitig ein wichtiges Silbererz.

Zinkblende (Schwefelzink, ZnS) kristallisiert regulär, häufig in Zwillingen, ist spröde, diamantglänzend, durchsichtig bis undurchsichtig, gut spaltbar und verschieden gefärbt; besonders häufig sind dunkle, derbe Aggregate. Zinkblende ist das wichtigste Zinkerz, wegen seines Gehaltes bis zu 0,9% Silber auch zugleich ein wertvolles Silbererz.

Die größten Diamanten der Welt. (Nach einer Zusammenstellung des „Scientific American".)

1 Kohinor nach dem letzten Schliff 106 Karat. 2 Lotteriediamant 82 Karat. 3 Großmogul 279 Karat. 4 Orloff 195 Karat. 5 Kohinor in früherer Gestalt 279 Karat. 6 Regent oder Pitt 137 Karat. 7 Florentiner 133 Karat. 8 Stern des Südens 124 Karat. 9 Polarstern 40 Karat. 10 Tiffanys gelber Diamant 125 Karat. 11 Blauer Diamant 44 Karat. 12 Sancy 53½ Karat. 13 Kaiserin Eugenie 51 Karat. 14 Schah (Rußland) 86 Karat. 15 Nassak 79 Karat. 16 Pascha in Ägypten 40 Karat. 17 Cullinan-Diamant 3025 Karat. 18 Exzelsior 969 Karat. (Alle um einen geringen Betrag verkleinert dargestellt.)

Abb. 81. Das Rösten der Erze bei Rio Tinto in Spanien.
Die ganze Umgebung wird von den stechend riechenden Dämpfen eingehüllt.

Bei Beuthen und Tarnowitz befindet sich das größte Zinklager Europas mit Flözen von 7—15 m Dicke. Zinkblende wird in großen Gefäßen (Muffeln) geröstet; die entweichende schweflige Säure dient zur Schwefelsäurefabrikation. Überhaupt ist Deutschland der größte Zinkproduzent; bei Aachen, im Siegerland, in Nassau, in Westfalen, im Harz (Lautenthal) und im Erzgebirge (Freiberg) wird Zinkblende abgebaut. Die deutsche Gesamtproduktion betrug vor dem Kriege über 200000 t im Werte von 110 Millionen Mark, daneben werden noch ausländische Blenden verhüttet. Dann folgen als zinkgewinnende Länder Belgien und die Vereinigten Staaten.

Kupferglanz (Schwefelkupfer, Cu_2S) kristallisiert rhombisch, häufig in Zwillingen. Zumeist findet sich das dunkelgraue bis schwarze, kaum glänzende Mineral in derben, weit verbreiteten Massen. Im Kupferschiefer von Mansfeld bildet er die „Speise" des Schiefers, bei Frankenberg in Hessen das Vererzungsmittel von Pflanzenresten (sog. Frankenberger Kornähren).

Magnetkies (Schwefeleisen, FeS) ist bronzegelb und kristallisiert hexagonal. Zumeist kommt er in derben, verunreinigten Massen vor; enthalten diese in genügender Menge auch Nickel, so wird der Magnetkies zu einem wichtigen Nickelerz. Er findet sich im Harz, im Bayrischen Wald (Bodenmais), in Norwegen, vor allem aber am Huronsee in Kanada.

Schwefelkies, auch Eisenkies oder Pyrit genannt, ist ebenfalls Schwefeleisen (FeS_2). Er kristallisiert häufig in schönen messinggelben Würfeln, Oktaedern oder in typischen Pentagondodekaedern (Pyritoedern) sowie in zahlreichen Kombinationen dieser regulären Grundformen. Pyrit ist eines der häufigsten Mineralien, „Hans in allen Gassen", und kommt besonders in derben oder strahlenförmigen Massen vor.

Große Lager von Schwefelkies finden sich am Rammelsberg bei Goslar; überhaupt enthalten alle Erzgänge Pyrit. Tritt er in Kohlen auf, so verhindert er deren gute Brennbarkeit, auch läßt sich die Selbstentzündung von Kohlengruben und -halden meist auf die Oxydation des Schwefelkieses zurückführen. Pyrit dient zur Darstellung des Schwefels und der Schwefelsäure.

Markasit besteht wie Pyrit aus FeS_2, das also dimorph ist, da Markasit rhombisch kristallisiert. Die Ausbildungsform seiner Zwillinge hat dem weniger häufigen Mineral auch die Namen Kammkies und Speerkies eingetragen; derbe Aggregate werden als Strahlkies, Leberkies oder Zellkies, je nach ihrem Aussehen, bezeichnet. Markasit findet sich wie Pyrit in Schichtgesteinen und Gängen und wird wie dieser verwendet.

Kupferkies (Chalkopyrit) besteht aus Kupfer, Eisen und Schwefel ($CuFeS_2$), kristallisiert quadratisch, kommt aber meist in derben Massen vor. Durch ins Grünliche gehende Färbung und geringere Härte ($3^1/_2$—4) unterscheidet er sich vom Pyrit. Kupferkies ist das wichtigste Kupfererz; Harz (Clausthal, Mansfeld), Erzgebirge (Freiberg) und Westfalen sind die wesentlichen deutschen Fundstätten.

Buntkupfererz tritt zusammen mit Kupferkies auf und enthält dieselben Elemente, nur in anderem Verhältnis (Cu_3FeS_3). Es kristallisiert regulär, tritt aber ebenfalls meist derb auf und zeigt prachtvolle Anlauffarben. Buntkupfererz findet sich bei Mansfeld im Kupferschiefer, ferner in Cornwall, am meisten jedoch in den Vereinigten Staaten, wo es das wichtigste Kupfererz ist.

Fahlerz. Unter diesem Namen faßt man eine größere Reihe von Mineralien zusammen, die regulär-tetraedrisch kristallisieren und neben Kupfer, Schwefel und Antimon bezw. Arsen auch Eisen, Silber, Quecksilber, Zink führen. Fahlerz ist weit verbreitet und wird im Harz, im Erzgebirge, im Nassauischen auf Kupfer und Silber verhüttet.

C. III. Klasse: Oxyde.

Oxyde sind Sauerstoffverbindungen der Metalle und Nichtmetalle. Das wichtigste Oxyd ist das **Wasser,** das in dem Aggregatzustand des Eises ebenfalls als Mineral anzusprechen ist. Schnee kristallisiert hexagonal, die Eigenschaften des Eises werden wir bei der Behandlung der Gletscher ausführlich besprechen.

Rotkupfererz (Cuprit, Kupferoxydul, Cu_2O) kristallisiert regulär in Oktaedern, Würfeln, Rhombendodekaedern. Seine Farbe ist dunkelrot, sein Strich braun. Rotkupfererz ist das ergiebigste Kupfererz und bildet in den Kupfererzlagerstätten oft ausgedehnte Lager in den oberen Teilen. Es entsteht leicht aus metallischem Kupfer durch Oxydation und verwittert zu Malachit.

Korund ist Aluminiumoxyd (Al_2O_3) und kristallisiert hexagonal-rhomboedrisch. Gut ausgebildete Kristalle sind selten. Die dichten, braunen Aggregate bilden die Hauptmasse des wegen seiner großen Härte (9) als Schleifmittel verwendeten, auf Naxos und in Kleinasien abgebauten Smirgels. Nach der Farbe des reinen Minerals unterscheidet man verschiedene als Edelsteine hochgeschätzte Varietäten.

Der rote Rubin wird besonders dann hoch bewertet, wenn er einen Stich ins Grüne zeigt. Da Steine von genügender Reinheit meistens nur klein sind, kostet ein 3 Karat schwerer Rubin etwa 20mal soviel wie ein 1karätiger, für den man

Abb. 82. Ein Eisenberg bei Kirunavaara in Lappland.

auch schon 500—1000 Mark zu zahlen hat. Der blaue Saphir ist billiger, namentlich, wenn er zu hell (Ceylonsaphire) oder zu dunkel (Steine aus Neusüdwales) ist. Manche Stücke zeigen sternförmige Figuren beim Durchblick (sog. Asterismus); diese Sternsaphire werden zu Liebhaberpreisen gehandelt.

Die gelbe Varietät des Korunds heißt orientalischer Topas, die gelbgrüne orientalischer Chrysolith, die violette orientalischer Amethyst, die seltene grüne orientalischer Smaragd.

Korund kommt in allen Farbvarietäten in Eruptivgesteinen vor, wird aber meist auf Seifen gewonnen. Hauptfundgebiet ist das nördliche Birma, das südöstliche Siam und die Gegend von Ratuapura (= Edelsteinstadt) am Fuße des Adamspiks auf Ceylon. Der größte klare Rubin stammte aus Birma und wog 47 Karat, sein Wert betrug 500000 Mark.

Durch elektrische Schmelzung von Bauxit oder elektrische Verdampfung von Tonerde hat man kristallinische Aggregate von Korund (sog. Elektrorubin) künstlich hergestellt. Diese in allen Farben erzeugten synthetischen Edelsteine unterscheiden sich von den natürlichen häufig nur dadurch, daß sie unter dem Einfluß von Röntgenstrahlen an Farbintensität verlieren.

Eisenglanz (Eisenoxyd, Fe_2O_3) kristallisiert rhomboedrisch, findet sich aber hauptsächlich in derben Massen, die verschiedene Namen führen. So heißen feinschuppige Aggregate Eisenglimmer, erdige Rötel, dichte Roteisenstein, feinfaserige Blutstein (Hämatit), radialfaserige mit schaligem Aufbau Roter Glaskopf (Glas bedeutet Glatz oder Glanz). Die Kristalle des Eisenglanzes sind metallglänzend, die derben Massen sind rot und wenig glänzend.

Eisenglanz ist häufig in kristallinischen Gesteinen, deren rote Färbung er bedingt. Wichtige Lagerstätten finden sich im Harz, im Erzgebirge, in Spanien, Brasilien und Nordamerika. Das Erz dient zur Gewinnung von Eisen; die Rötel sind Malerfarben, der Hämatit ist in geschliffenem Zustand ein beliebter Schmuckstein.

Magneteisen (Magnetit, Fe_3O_4) kristallisiert regulär, und zwar häufig in Oktaedern. Seine Farbe ist eisenschwarz, metallglänzend. Magneteisen verhält sich einem Magneten gegenüber wie weiches Eisen, in größeren Massen wirkt es selbst wie ein Magnet. Die Eisenberge von Kirunavaara und Gellivaara in Lappland, die Magnetberge des Ural und der Vereinigten Staaten sind Beispiele dafür. In feiner Verteilung findet sich Magnetit in fast allen Eruptivgesteinen, besonders häufig in Basalt. Magneteisen ist ein sehr wichtiges Eisenerz (Abb. 82).

Quarz (Siliziumdioxyd, SiO_2) ist das verbreitetste Mineral. Er kristallisiert hexagonal, zumeist in Form eines hexagonalen Prismas mit scheinbar hexagonaler Pyramide. Sind die Kristalle seitlich festgewachsen, so sind häufig beide Pyramiden ausgebildet. Sehr häufig sind auch Zwillingsbildungen.

Die Kristalle des Quarzes sind sehr mannigfach; ebenso wechselt ihre Farbe in weiten Grenzen. Ganz reine Stücke sind wasserhell und durchsichtig, sie gaben den Alten Veranlassung zu der Meinung, Bergkristall sei versteinertes Eis. Trübe Varietäten erscheinen weiß. Häufig zeigt Quarz gelbe, violette, braune oder blaue Farben, oder er ist durch Einschlüsse verschieden gefärbt. Quarz ist sehr spröde; die splittrig-muscheligen Bruchstücke sehen häufig fettig aus (Fettquarz).

Quarz ist nur im Knallgebläse schmelzbar und wird lediglich von Flußsäure angegriffen.

Quarzkristalle finden sich überall in Spalten oder Hohlräumen (sog. Drusen) des Gesteins. Am wichtigsten ist indessen der Quarz als Bestandteil („Gemengteil") vieler Gesteine, vor allem der Eruptiva, aber er bildet auch selbst in Form des Quarzits und Kieselschiefers gewaltige Felsmassen. Wenn alle anderen Gemengteile schon zerfallen und aufgelöst sind, bleibt der Quarz erhalten und findet sich deshalb überall auf der Erde als Geröll oder als Sand. Die einzelnen Sandteilchen verkitten dann später wieder, und so entstehen die Sandsteine, deren Hauptbestandteil der Quarz ist. In Form von Gängen aller Dimensionen füllt er zahllose Risse und Spalten aus, und als Versteinerungsmittel hat er ebenfalls eine sehr große Bedeutung.

Man unterscheidet eine große Reihe von Varietäten, von denen hier allerdings nur die wesentlichsten in ihren Eigenschaften aufgeführt werden können.

Bergkristall heißen die durchsichtigen, schön ausgebildeten Kristalle, die sich in großen Mengen namentlich in den Kristallkellern der Westalpen (St. Gotthardgebiet) finden. Von hier gelangen sie durch Wassertransport in die Flüsse: die als Schmuckstück verwendeten Rheinkiesel sind Gerölle von Bergkristall. In Madagaskar und Brasilien sind Riesenkristalle von 8 m Umfang gefunden worden. Kleine, sehr schön ausgebildete Kristalle sind auf dem Marmor von Carrara aufgewachsen, die doppelseitigen Quarzpyramiden am Auerberg im Harz wurden früher als „Stolberger Diamanten" gehandelt.

Hellbraune bis rauchbraune Bergkristalle heißen Rauchtopas, ganz schwarze Morion; sie finden sich in Stücken bis zu 225 Pfund unter anderem am Tiefengletscher im Kanton Uri.

Abb. 83. Eisenerzgewinnung im Tagebau.

Die violette Varietät des edlen Quarzes heißt Amethyst, verdeutscht „nicht trunken", weil dieser Stein von den Griechen als Amulett gegen die Trunkenheit getragen wurde. Amethyste finden sich zumeist in Drusen, in denen sie aus Lösungen auskristallisiert sind. Eine wichtige Fundstätte waren früher die vulkanischen Gesteine (Melaphyre) des Nahegebietes, so daß in den Orten Idar und Oberstein daraufhin eine blühende Edelsteinindustrie gegründet werden konnte, die ihren Bedarf indessen seit längerer Zeit aus den Funden von Brasilien und Uruguay decken muß. Auch im Koloradogebiet, in Mexiko und Indien werden große Mengen des beliebten Halbedelsteins gewonnen. Die brasilianischen Stücke nehmen bei vorsichtigem Glühen eine goldgelbe Färbung an und heißen im Handel dann Goldtopas; natürliche, weingelbe Stücke nennt man Citrin.

Gemeiner Quarz. Im Gegensatz zum edlen Quarz ist dieser undurchsichtig, höchstens durchscheinend. Er ist häufig in Gängen, tritt aber auch in Drusen auf und findet sich als Gemengteil in Eruptivgesteinen. Quarzsande werden an vielen Stellen abgebaut. Auch beim gemeinen Quarz lassen sich mehrere Varietäten unterscheiden: Milchquarz ist milchweiß und findet sich in derben Stücken, Rosenquarz zeigt rosenrote, sehr schöne Färbung. Eisenkiesel ist trübe und rot gefärbt, Prasem lauchgrün. Infolge zahlreicher Eisenglimmerschuppen glitzernder roter Quarz heißt Avanturin. Unter diesem Namen geht allerdings zumeist ein vielfach zu Schmuckstücken verwendeter, in Murano bei Venedig zuerst zufällig (daher der Name) hergestellter Glasfluß, dessen Glitzern durch winzige Kupferflitter bedingt ist. Die Katzenaugen enthalten zahlreiche Asbestfasern, wodurch nach dem Schliff ein wogender Lichtschein erzeugt wird; sie kommen bei Hof in Bayern und auf Ceylon

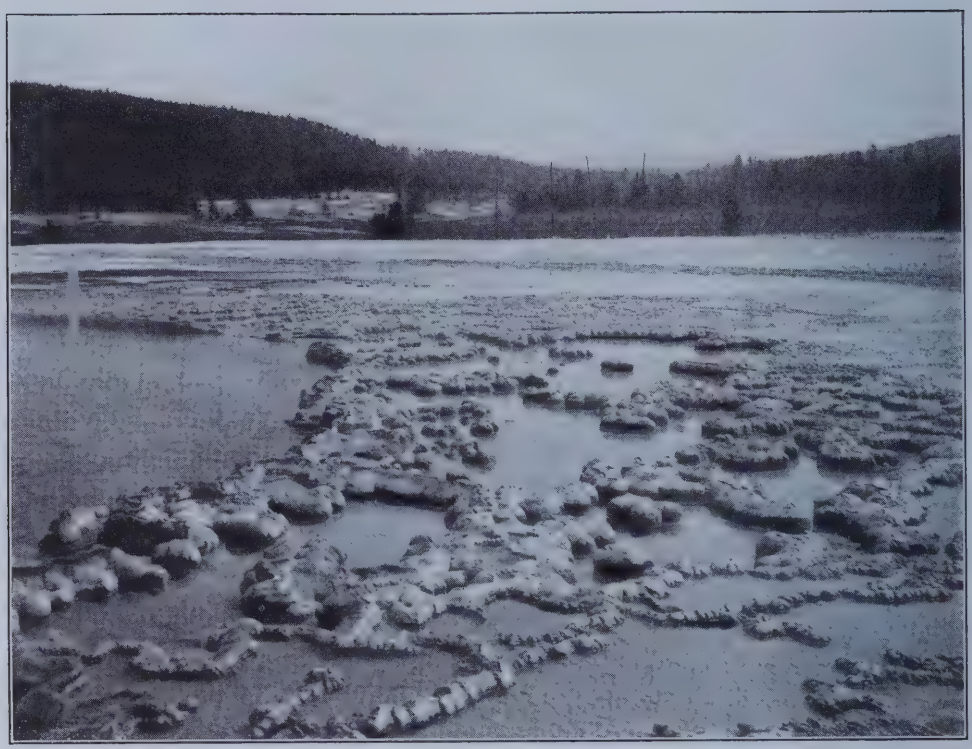


Abb. 84. Saphir-Sumpf und Biskuit-Bassin im Yellowstone-Park, farbenprächtige Kieselsinterbildungen.

vor, während die ähnlichen Schmucksteine Tigerauge und Falkenauge zumeist aus Transvaal stammen.

Schließlich seien noch einige Varietäten des zumeist verunreinigten dichten Quarzes genannt. Hornstein ist gelblichbraun bis grau gefärbt und zeigt einen splittrigen Bruch, Chrysopras ist durch Nickelverbindungen grün gefärbter Hornstein (Vorkommen bei Frankenstein in Schlesien). Jaspis ist braun, rot, gelb oder auch grün gefärbt; er tritt wie seine wertvollere Abart, der Heliotrop, als Absatz heißer Quellen in Spalten und Klüften der verschiedensten Gesteine auf.

Kieselschiefer (Lydit) schließlich ist ein durch Kohle schwarz gefärbter, häufig von weißen Quarzadern durchzogener Quarz. Er tritt felsbildend in alten Formationen auf, so im Rheinischen Schiefergebirge, im Harz und häufig als Geschiebe in Flüssen. Die Juweliere benutzen den Lydit (nach seinem Vorkommen in Lydien in Kleinasien genannt) seit jeher als Probierstein für Gold.

Auch der Feuerstein oder Flint, der sich in Knollen aller Größen und Farben zwischen den Kreideschichten der Nord- und Ostsee findet und der während der Eiszeit über ganz Norddeutschland verfrachtet wurde, gehört hierher.

Opal ist wasserhaltige Kieselsäure und stets als Absatz aus heißen Quellen entstanden. Er kommt amorph in derben oder traubenförmigen Massen vor, ist verschieden gefärbt und besitzt die Härte 6. Die prächtigste, milchweiße bis bläuliche, durch lebhaftes Farbenspiel im auffallenden Licht ausgezeichnete Varietät heißt

Edelopal. Dieser begehrte Schmuckstein kommt in besonders schönen Stücken bei Czernowenitza am Südabhang der Karpathen vor, große Mengen werden auch in Queensland, in Neu-Südwales und in Mexiko abgebaut.

Rötliche Stücke heißen Feueropal, milchweiße Milchopal. Die nicht durchscheinenden und opalisierenden Varietäten nennt man Halbopale. Zu ihnen gehören Holzopal, der zu Opal versteinertes Holz darstellt, ferner die Absätze von Kieselsäure, die sich an den heißen Quellen des Yellowstoneparkes und Neuseelands bilden und die in ihren schimmernden Farben wundervolle Landschaftsbilder ergeben (Abb. 84).

Auch die aus den Panzern winziger Kieselalgen (Diatomeen) gebildete Kieselgur ist, mineralogisch gesprochen, Opal. Kieselgur oder Bergmehl findet sich in erdigen Massen im Untergrund von Berlin, bei Lüneburg und in Tripolis (sog. „Tripel"). Sie wird wegen ihrer großen Porösität hauptsächlich bei der Herstellung von Dynamit verwendet, indem man sie mit Nitroglyzerin tränkt; festere Massen (Vorkommen bei Bilin in Böhmen) dienen als Polierschiefer.

Chalcedon ist sehr feinfaserige, wenig glänzende, durchscheinende Kieselsäure von verschiedener Färbung. Rotgelber Chalcedon heißt Karneol, grüner Plasma, grüner mit roten Tupfen Heliotrop, mit moosähnlichen Einschlüssen Moosachat. Setzen sich die Chalcedone aus einzelnen Schichten von verschiedener Färbung und Dichte zusammen, so entstehen die Achate. Diese können auch künstlich nachgefärbt werden, und zwar durch Brennen rot, durch Einlegen in Honig und darauffolgende Behandlung mit Schwefelsäure (wodurch Verkohlung eintritt) leuchtend schwarz. Durch Tränken mit Kandiszuckerlösung und nachfolgendes Brennen erhält man schöne braune Töne, während grüne durch Färbung mit Chromverbindungen, blaue durch Imprägnierung mit Berliner Blau erzielt werden.

Die Achate werden seit dem Altertum als Schmuckstücke verwendet und in verschiedener Weise geschnitten. Sind nur weiße und schwarze Schichten vorhanden, so spricht man von Onyx (griech. der Nagel); weiße und rote Steine heißen Karneolonyx, braune und weiße Sardonyx. Wegen ihrer zweifachen Färbung benutzt man sie seit alters her zum Schneiden von Gemmen und unterscheidet hierbei die Kameen mit erhabenen, die Intaglios mit vertieften Figuren. Hauptsitze der Achatindustrie sind Oberstein und Idar, wo früher die Stücke selbst vorkamen, während heute ausschließlich Achate aus Brasilien und Uruguay verschliffen werden.

Zinnstein (Zinnerz, Kassiterit, SnO_2), regulär kristallisierend mit häufigen, visierartigen Zwillingen (sog. Visiergraupen, Abb. 85), ist das einzige Zinnmineral. Zinnerz ist diamantglänzend, dunkel gefärbt und findet sich entweder in körnigen oder faserigen (Holzzinn) Massen, eingewachsen in Eruptivgesteinen oder lose auf Zinnseifen.

Abb. 85. Zwilling von Zinnstein.

Die größte Menge stammt aus den Seifen der malaiischen Halbinsel; nächst Asien sind Bolivien und Mexiko von Bedeutung. Auch Australien (Tasmanien) und Südafrika haben bedeutende Zinnerzlagerstätten. Von europäischen Vorkommen haben diejenigen von Cornwall in England seit alten Zeiten eine große Wichtigkeit, holten doch schon die Griechen das Zinn von dort. Die einst berühmten Gänge des Erzgebirges und Böhmens sind dagegen fast gänzlich erschöpft.

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 86. Gewinnung des Salzes aus dem Meerwasser auf den Pityusen im Mittelmeer.

Brauneisenstein ($Fe_2O_3 + 3\,H_2O$) ist ein wichtiges Eisenerz, das entweder nierenförmige, stark glänzende schwarze Klumpen (brauner Glaskopf) oder dichte bis erdige Massen bildet. Es findet sich auf allen Eisenerzlagerstätten und ist häufig aus anderen Eisenerzen hervorgegangen. Im Harz, im Erzgebirge, im Thüringer Wald und im Siegener Revier wird Brauneisenstein auf Eisen verhüttet. Besondere Varietäten sind die Bohnerze, die aus einzelnen bohnengroßen Körnchen bestehen, welche sich aus Quellen abgeschieden haben (Schwäbischer Jura), ferner die Minette, die zu dem ausgedehnten lothringischen, französischen und belgischen Eisenbergbau Veranlassung gegeben hat. Brauneisenerz entsteht noch heute in Mooren und Sümpfen und wird in dieser Form als Raseneisenerz, Wiesenerz oder Sumpferz bezeichnet; auch die braune Färbung der Ackerböden geht auf Brauneisenstein zurück, der in Spuren überall nachweisbar ist.

D. IV. Klasse: Haloidsalze.

Haloidsalze sind Verbindungen der Halogene (Salzbildner) Chlor, Brom, Jod und Fluor mit Metallen.

Steinsalz (Chlornatrium, NaCl) kristallisiert regulär in Würfeln, die sehr deutliche Spaltbarkeit nach den Würfelflächen zeigen, und kommt zumeist in körniger, seltener in faseriger Ausbildung vor. Reine Stücke sind wasserklar und durchsichtig, Verfärbungen durch Metallbeimischungen sind ebenso häufig wie Einschlüsse von Flüssigkeiten (Mutterlauge) und Gasen. Das Steinsalz hat die Härte 2,5, es ist zu

Underwood & Underwood.

Abb. 87. Salzgewinnung aus einem südrussischen Salzsee.

36—39 Teilen in 100 Teilen Wasser löslich und nimmt aus der Luft begierig Wasser auf, so daß Kristalle bald ihren ursprünglichen Glasglanz verlieren und angeätzt werden.

Steinsalz findet sich stets in Begleitung von Anhydrit und Gips, und zwar in abwechselnden Schichten von manchmal insgesamt bis 1000 m Mächtigkeit. An manchen Stellen, so im Staßfurter und Vienenburger Revier am Harzrande, wird es von Schichten der leichter löslichen Abraumsalze (s. unten) bedeckt, und die gesamte Lagerstätte wird schließlich von einem salzreichen Ton überlagert, der kein Wasser durchläßt und deshalb die Auflösung des Salzes verhütet.

Steinsalz wird an vielen Stellen bergmännisch gewonnen, so in Norddeutschland, in Süddeutschland und in Tirol, wo Orte mit der Silbe -hall im Namen auf Salzreichtum ihres Bodens hinweisen. Weitere mächtige Lager werden in Galizien (bei Wieliczka und Kalusz), in Südrußland und Spanien abgebaut. Sehr oft wird das Steinsalz auch in Form der Sole, und zwar der natürlichen wie der durch vorheriges Einpumpen von Wasser in das Salzgebirge gewonnenen künstlichen Sole

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 88. Gewinnung des Solsalzes. Steinsalzrippen im Glockenabbau.
Sole wird in großer Menge im Bergwerk zu Berchtesgaden gewonnen und in die Salinen von Reichenhall und Traunstein geleitet.

gewonnen (Abb. 88), so vor allem in dem vielbesuchten Bergwerk zu Berchtesgaden.

Um die Sole zu konzentrieren, läßt man sie häufig erst einige Male über das Strauchwerk von Gradierwerken tropfen. Hierbei verdunstet an der Luft ein Teil des Wassers, und der schwer lösliche Gips setzt sich als Dornstein am Gestrüpp an. Aus der konzentrierten Sole wird dann durch Eindampfen in den Salinen das Rohsalz und nach mehreren Reinigungsprozessen das Speisesalz gewonnen. Viehsalz ist künstlich verunreinigtes (denaturiertes) Speisesalz.

Aus dem Meerwasser, das durchschnittlich $3^1/_2\,\%$ Salz enthält, wird dieses ebenfalls durch Verdampfen in teichartigen Gruben (sog. Salzgärten) gewonnen. Selbstverständlich kommen hierfür in erster Linie warme, regenarme Gebiete in

Betracht, indessen entstammt auch die Hauptmenge des in England gewonnenen Salzes dem Meerwasser (Abb. 86).

Die Gesamtproduktion der Erde an Steinsalz wird auf etwa 14 Millionen t im Jahre veranschlagt. Der Mensch braucht im Jahr durchschnittlich 8 kg Speisesalz.

Abraumsalze. In enger Gemeinschaft mit dem Steinsalz kommen an gewissen Stellen auch jene leicht löslichen Salze vor, die man früher als unbrauchbar auf die Halden warf, „abräumte", und deshalb unter dem gemeinsamen Begriff der Abraumsalze zusammenfaßte. Seitdem man aber erkannt hatte, welche außerordentlich hohe Bedeutung diese Salze für die Ernährung der Pflanzen haben, stellen sie jetzt als „Edelsalze" einen sehr wertvollen Teil der Salzlager dar. Die Abraumsalze sind ein Nationalschatz Deutschlands, wenn sie auch in anderen Ländern auftreten und wenn auch die ergiebigen Lagerstätten im Elsaß an Frankreich übergegangen sind.

Das Hauptfundgebiet der wegen ihres Gehaltes an Kalium auch als Kalisalze bezeichneten Abraumsalze erstreckt sich nördlich und südlich des Harzes und ist gebunden an die sog. Zechsteinformation.

Besonders wichtig sind Karnallit ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6\,H_2O$), das körnige, farblose oder durch Eisenverbindungen rötlich gefärbte Massen bildet, die sehr stark hygroskopisch sind und deshalb an der Luft zerfließen. Sylvin ist Chlorkalium (KCl), kristallisiert in Würfeln und bildet, wie Steinsalz, zumeist diesem sehr ähnliche körnige Massen. Kieserit ist wasserhaltiges Magnesiumsulfat ($MgSO_4 \cdot H_2O$), Kainit ein Mischsalz von Sylvin und Kieserit ($KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3\,H_2O$) und Polyhalit enthält sogar drei Sulfate ($2\,CaSO_4 \cdot MgSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot 2\,H_2O$).

Flußspat (Fluorit, Fluorkalzium, $CaFl_2$) kristallisiert regulär in zahlreichen Formen und zeigt deutliche Spaltbarkeit nach dem Oktaeder (Abb. 89 u. 90). Daneben kommt Fluorit auch in Form dichter und körniger Aggregate in Gängen vor, in denen es aus Gasen, die in Quellen gelöst waren, abgesetzt wurde. Die Kristalle sind durchsichtig, glasglänzend oder mannigfaltig gefärbt; die dunkelgrünen zeigen die nach dem Mineral benannte Eigenschaft der Fluoreszenz, sie erscheinen im durchfallenden Licht grün, im reflektierten jedoch blau gefärbt.

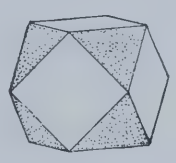


Abb. 89. Flußspat. Würfel mit Oktaeder.

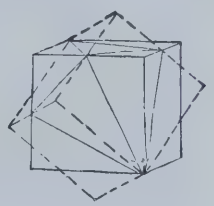


Abb. 90. Flußspat. Durchkreuzungszwilling von zwei Würfeln.

Reich an Flußspat sind der Südharz (Stolberg), die Oberpfalz, das Vogtland. Produzenten für den Weltmarkt sind England und die Vereinigten Staaten.

Flußspat wird als Flußmittel bei Hüttenprozessen verwendet und dient zur Darstellung der Flußsäure.

Kryolith (Eisstein, $3\,NaFl \cdot AlFl_3$) bildet meist dichte großkörnige Massen und ist weiß gefärbt und durchscheinend. Er schmilzt sehr leicht an der Flamme und besitzt eine zwischen $2^1/_2$ und 3 liegende Härte. In großen Massen kommt Kryolith auf Westgrönland vor, wo es abgebaut wird. Er dient zur Darstellung von Flußsäure, Alaun, Natrium und Aluminium.

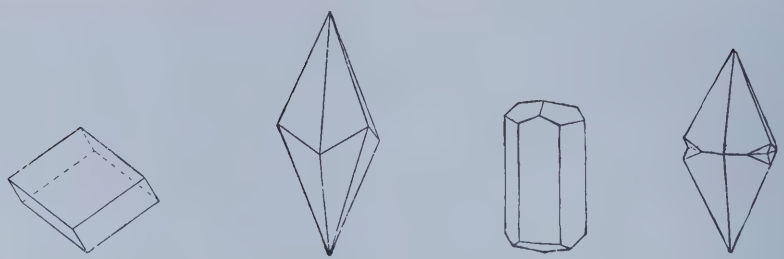


Abb. 91. Spaltungsstück. Abb. 92. Skalenoeder. Abb. 93. Prisma mit Rhomboeder. Abb. 94. Skalenoeder, Zwilling.

Abb. 91–94. Vier Kristallformen des Kalkspats.

E. V. Klasse: Karbonate.

Karbonate sind Salze der Kohlensäure H_2CO_3.

Kalkspat (Kalzit, $CaCO_3$) kristallisiert hexagonal-rhomboedrisch in zahlreichen Formen (Abb. 91—94), hat die Härte 3, ist durchsichtig bis undurchsichtig, farblos oder gefärbt. Der Kalkspat ist nach dem Quarz das verbreitetste Mineral. In Kristallen findet er sich auf Gängen, und zwar in den verschiedensten Formationen und Gesteinen. Farbloser, durchsichtiger Kalzit zeigt besonders deutlich die Erscheinung der Doppelbrechung; der isländische Doppelspat (vom Eskifjord und Reidarfjord) wird zu optischen Instrumenten verwendet.

Radialfaserig sind die Tropfsteine, die sich in Höhlen und Spalten bilden, indem sich der im Sickerwasser gelöste Kalk nach Verdunsten der Tropfen absetzt.

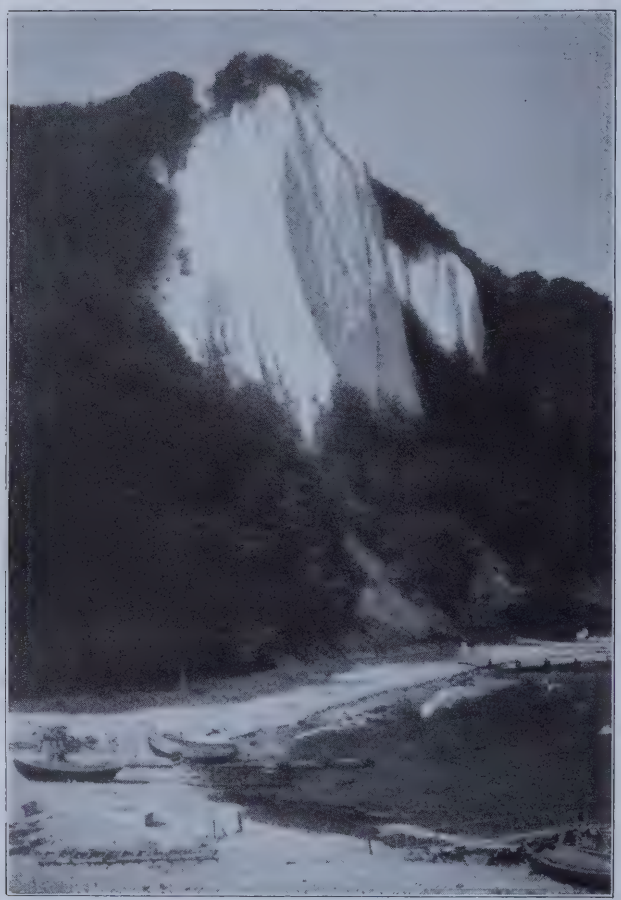
Verbreiteter als der kristallische ist der kristalline Kalk, der als Marmor bezeichnet wird. Er kommt entweder als Einlagerung in Gneis oder kristallinen Schiefern vor, so auf den Inseln Naxos und Paros, am Pentelikon und Hymettos, wo er das Material für die klassischen Bildwerke der Antike lieferte, ferner bei Wunsiedel im Fichtelgebirge und im Bayerischen Wald. Oder er bildete sich aus gewöhnlichem Kalkspat durch mineralogische Umsetzung infolge des Eindringens glühender Gesteinsmassen (sog. Kontaktmetamorphose) oder infolge von Gebirgsdruck (Dynamometamorphose). Das Hauptvorkommen dieses Marmors liegt bei Carrara in den Apuanischen Alpen, 56 km nördlich von Pisa. Hier kommen in riesigen Brüchen neben dem gewöhnlichen, von grauen Adern durchzogenen Marmor („Ordinario") auch große Partien von schneeweißem, sehr feinkörnigem „Statuario" vor, der das erlesene Material für die großartigen Schöpfungen eines Michelangelo war und der noch heute am begehrtesten ist. Etwa 8000 Arbeiter gewinnen hier jährlich 260000 t Marmor, dessen beste Sorte mit 200 Mark für das Raummeter bezahlt wird. Die abgesprengten, bis 400 Zentner schweren Blöcke werden aus den zum Teil 1500 m über dem Meeresspiegel liegenden Brüchen mittels Kleinbahn oder Ochsengespannen zu Tal geschafft, hier in Steinsägen mit Wasserkraft zerschnitten und dann poliert (Abb. 95).

Dem carrarischen ebenbürtig, hinsichtlich seiner Wetterbeständigkeit sogar überlegen, ist der Marmor von Laas in Tirol, und wertvolle Marmore kommen auch in Norwegen, in Frankreich und Spanien vor. Auch farbige, polierfähige Kalksteine

Abb. 95. Ein Marmorbruch bei Carrara. Das gebrochene Gestein wird in große Blöcke gehauen und dann zu Tal geschafft, um hier zersägt und poliert zu werden.

werden im Handel als Marmor bezeichnet und namentlich zu Tischplatten und Wandbelagen verarbeitet. In Deutschland werden sie bei Rosenheim in Bayern, am Untersberg bei Berchtesgaden, in Schlesien, in Thüringen und im Harz abgebaut. Häufig enthalten sie Versteinerungen, die im eigentlichen Marmor völlig fehlen, und erhalten dadurch ein lebhaftes Aussehen.

Der dichte Kalkstein stellt das häufigste Vorkommen des Kalzits dar; er ist meist aus den Schalen von Organismen gebildet, die sich am Boden früherer Meere ablagerten. In Deutschland bestehen die nördlichen Kalkalpen ganz aus diesem Gestein, ebenso das Juragebirge und zum großen Teil auch die anderen Mittel-



Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 96. Die Kreideklippe von Stubbenkammer auf Rügen, fast ganz aus den Schalen von Foraminiferen aufgebaut.

gebirge. Setzt sich der Kalk aus lauter hirsekorn- bis erbsengroßen Kügelchen zusammen, so wird er Oolith, Rogen- oder Erbsenstein genannt.

Auch die Kreide ist ein aus den Schalen winziger Urtiere, der Foraminiferen oder Thalamophoren (Kammerlinge), bestehender Kalk von weißer Farbe und erdiger Beschaffenheit. Die Schalen lassen sich in der Schlämmkreide deutlich bestimmen; sie gehören größtenteils denselben Arten an, deren Schalenreste am Boden der heutigen Meere den sog. Globigerinenschlick bilden Außer den genannten Foraminiferen sind in der Kreide noch die Reste anderer Meerestiere, so von Schwämmen, Stachelhäutern, Armfüßlern und Moostorallen enthalten, so daß sich die Kreide als ein gänzlich aus tierischen Stoffen bestehendes, „zoogenes" Gestein darstellt.

Die Kreide wird an der englischen Küste bei Dover, ferner im Pariser Becken (Meudon) und in der Champagne abgebaut; auch in Belgien und Dänemark ist sie verbreitet. Von den deutschen Kreidevorkommen sind die auf der Halbinsel Jasmund auf Rügen am wichtigsten, wo die Kreide in zahlreichen Brüchen gewonnen wird, um zu Schlämmkreide verarbeitet zu werden. Daneben sind die Kreidelager von Mecklenburg und Holstein wenig ergiebig (Abb. 96).

Eine technisch wichtige Varietät des dichten Kalksteins ist auch der lithographische Kalk von Solnhofen, der wegen seines sehr feinen Korns zu lithographischen Platten verarbeitet wird.

Kalkreiche Bäche setzen häufig Kalksinter ab, wobei die im Wasser enthaltenen Pflanzen eine gewisse Rolle spielen. Die lockeren oder festeren Sinter oder Süßwasserkalke werden zu Baustoffen verwendet; am berühmtesten sind die Kalksinter von Tibur bei Rom, die als Travertin bezeichnet werden.

Dolomit, nach dem französischen Mineralogen Dolomieu genannt, besteht aus Kalzium- und Magnesiumkarbonat $(CaMg)CO_3$, kristallisiert hexagonal-rhomboedrisch, bildet aber zumeist dichte Massen, die gebirgsbildend zum Beispiel in den Dolomiten auftreten (Abb. 97).

Abb. 97. Die Vajolettürme, vom Gartl aus gesehen, schroffe Felszinnen, die aus Dolomitgestein bestehen.

Eisenspat (Spateisenstein, $FeCO_3$) kristallisiert hexagonal-rhomboedrisch, ist aber meist körnig aggregiert. Eisenspat verwittert sehr leicht und geht dann in Brauneisenstein über. Er ist ein sehr wichtiges Eisenerz, große Lager finden sich bei Hüttenberg in Kärnten und bei Eisenerz in Steiermark, wo der Eisenspat seit Jahrhunderten abgebaut wird.

Häufig ist Eisenspat mit Ton vermengt; dieser Toneisenstein kommt häufig in den Schichten der Steinkohlenformation, mit Kohle vermengt, vor und wird als Kohleneisenstein, englisch blackband, bezeichnet. Wichtige Lagerstätten dieses Minerals finden sich in Westfalen, im Saargebiet, in Oberschlesien und in England. Für die Herstellung von Spiegeleisen und Stahl ist das Erz besonders geeignet.

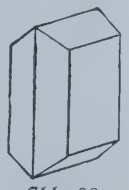


Abb. 98. Aragonit. Einfacher Kristall.

Aragonit, nach seinem Vorkommen in Aragonien (Spanien) genannt, ist ebenfalls kohlensaurer Kalk, unterscheidet sich aber vom Kalzit durch fehlende Spaltbarkeit, höheres spez. Gewicht und größere Härte ($3^1/_2$—4). Aragonit findet sich außer in rhombischen Kristallen (Abb. 98) in dichten und kugeligen Massen als Absatz von Quellen. Auf solchem Sprudelstein ist beispielsweise ganz Karlsbad aufgebaut. Da die erbsenförmigen Körner in geschliffenem Zustand ein schönes Aussehen zeigen, wird Aragonit bisweilen zu Gebrauchs- und Luxusgegenständen verarbeitet.

F. VI. Klasse: Sulfate.

Die Sulfate sind Salze der Schwefelsäure, H_2SO_4.

Schwerspat, (Baryt, $BaSO_4$) kristallisiert rhombisch, tritt aber meistens in dichten oder körnigen Massen auf, die verschieden gefärbt sind, aber an ihrem hohen spez. Gewicht (4,5) leicht erkannt werden können. Kristalle und derbe Massen von Schwerspat finden wir häufig in den Erzgängen des Harzes, des Erzgebirges, in Thüringen, im Schwarzwald, in Ungarn und im südlichen England.

Man verwendet ihn zur Darstellung weißer Farben und als Ausgangsmaterial für die chemischen Bariumpräparate.

Isomorph mit Schwerspat sind der himmelblaue, früher in der Feuerwerkerei verwendete Cölestin ($SrSO_4$) sowie das Bleivitriol ($PbSO_4$), das im Siegener Land und in Sardinien als Bleierz von Bedeutung ist.

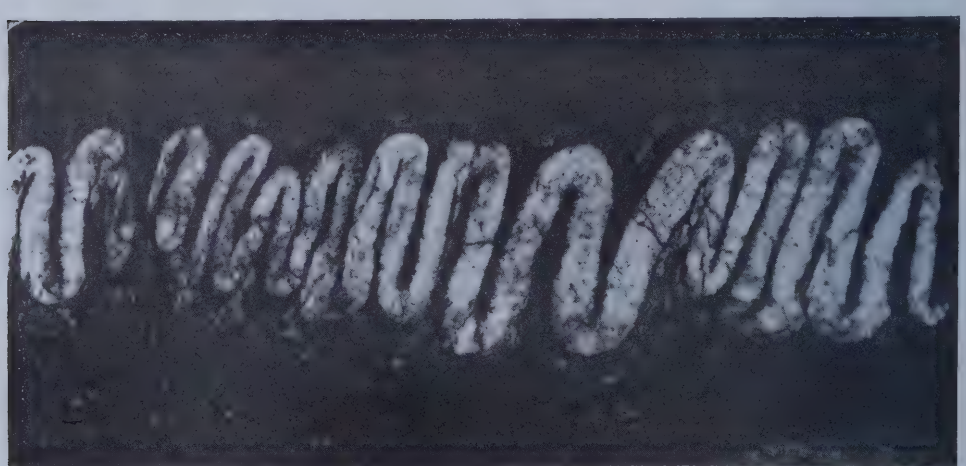
Abb. 99. Gips. Einfacher Kristall.

Abb. 100. Gips. Schwalbenschwanz.

Anhydrit ist Kalziumsulfat ($CaSO_4$). Selten rhombisch kristallisierend, tritt es fast ausschließlich in den Salzlagerstätten auf, wo es als schwerst lösliches Salz die Unterlage bildet. Durch Wasseraufnahme geht Anhydrit in Gips über.

Gips kristallisiert monoklin, tafelig und bildet häufig Zwillinge in Schwalbenschwanzform (Abb. 99 und 100). Er ist sehr gut spaltbar, farblos oder verschieden gefärbt. Seine Kristalle zeigen Glasglanz, auf den Spaltflächen schönen Perlmutterglanz. Sehr schöne Kristalle, als Marienglas bezeichnet, finden sich in Hohlräumen des Gipses, so in der Barbarossahöhle des Kyffhäusers und in der Marienhöhle bei Friedrichroda am Thüringer Wald. Marienglas, auch Fraueneis genannt, fand im Altertum dieselbe Verwendung wie später das Glas.

Eine faserige Varietät, die häufig Ausfüllungen von Spalten im Gips oder in gipsführenden Gesteinen bildet, wird Fasergips genannt.



Phot. Dr. Stoedtner Berlin.

Abb. 101. Detailfaltung einer Anhydritschicht.

Einige technisch wertvolle Mineralien. (Nach einem Aquarell von Hans Steiner.)

1 Gold, Siebenbürgen
2 Silber, Kongsberg
3 Bleiglanz, Harz
4 Zinkblende, Schlaggenwald, Bhm.
5 Eisenkies, Piemont
6 Kupferkies, Harz (Neudorf)
7 Roter Glaskopf, Harz (Zorge)
8 Opal, Queensland, Australien
9 Bergkristall, Ober-Wallis
10 Rauchtopas, Graubünden
11 Quarz-Amethyst, Sachsen
12 Augit, Böhmen
13 Orthoklas, Neu-Mexiko
14 Granat

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 102. Gefaltete Gipsschichten und Höhlenbildung. Teufelslöcher bei Jena.

Körniger Gips heißt Alabaster; dieser kommt in großen Massen mit oder ohne Steinsalz vor und wird — namentlich bei Volterra in Toskana — zu Bildhauerarbeiten verwendet. Von Marmor ist er leicht zu unterscheiden, da er sich im Gegensatz zu diesem infolge seiner schlechten Wärmeleitung warm anfühlt.

Der dichte Gips ist schließlich ein weit verbreitetes Mineral, das sich überall findet, wo Gesteine aus Meeresabsatz entstanden sind. In Wasser ist er im Verhältnis 1:400 löslich; auf diese Weise entstehen in Gipsgebirgen zahlreiche Höhlungen und Klüfte. Die Heimkehle unweit von Berga-Kelbra am Südabhang des Harzes, die als größte Höhle Deutschlands seit einigen Jahren erschlossen ist, stellt einen solchen Hohlraum im Gipsgebirge dar.

Wenn sich Gips aus Anhydrit durch Wasseraufnahme bildet, so nimmt das Gestein an Volumen zu und legt sich häufig in starke Falten (Abb. 101 und 102).

Wird Gips auf 120° erhitzt, so entweicht dieses Wasser. Der gebrannte Gips nimmt aber Wasser wieder auf und wird dann sehr hart. Darauf beruht seine Verwendbarkeit zu Stuckarbeiten und zur Herstellung von Abgüssen und Verbänden. Neuerdings wird Gips in großem Maßstab zur Darstellung der Schwefelsäure und anderer chemischer Produkte abgebaut.

G. VII. Klasse: Phosphate.

Phosphate sind Salze der Phosphorsäure H_3PO_4.

Apatit, ein chlor- und fluorhaltiges Kalziumphosphat, $Ca_3(PO_4)_2 \cdot Ca(Cl, F)_2$, kristallisiert hexagonal; er ist durchsichtig bis undurchsichtig, farblos oder verschieden

gefärbt. Apatit findet sich in fast allen Eruptivgesteinen und teilt diesen seinen Phosphorgehalt mit, was für die Vegetation von großer Bedeutung ist, da die Pflanzen des Phosphors zum Aufbau ihres Protoplasmas bedürfen.

Tritt Apatit in dichten oder erdigen Massen auf, so wird er als Phosphorit bezeichnet. Mächtige Lager dieses Minerals wurden früher bei Limburg a. Lahn und bei Amberg in Bayern abgebaut und durch Behandlung mit Schwefelsäure in Superphosphat, ein wichtiges Düngemittel, übergeführt. Jetzt verwendet man dazu hauptsächlich Phosphate aus Kanada und Carolina, die aus den Exkrementen von Sauriern früherer Erdperioden entstanden sind (sog. Kotsteine oder Koprolithen). Allein in Deutschland werden jährlich 500000 t Superphosphat dem Boden zur Düngung zugeführt.

Türkis ist wasserhaltige phosphorsaure Tonerde und findet sich hauptsächlich auf Spalten und Klüften. Wegen seiner prachtvollen himmelblauen Färbung wird er als Edelstein geschliffen. Die schönsten Stücke kommen aus Persien (Mesched), andere aus Nevada und Arizona, während die grünlichen, in Schlesien gefundenen Türkise kaum verwendet werden.

H. VIII. Klasse: Silikate.

Silikate sind Salze der verschiedenen Kieselsäuren. Als Metalle spielen dabei Kalium, Natrium, Kalzium, Magnesia, Eisen und Aluminium die Hauptrolle. Häufig sind Doppelsalze von wechselnder Zusammensetzung, so daß eine große Zahl von Verbindungen resultiert, von denen nur die wesentlichsten genannt werden können. Die Silikate sind hauptsächlich als Gemengteile vieler Gesteine von Bedeutung.

a) Gruppe der Feldspate.

Die verschiedenen Arten des Feldspates sind die wichtigsten Silikate. Sie kristallisieren monoklin und triklin und spalten nach zwei Richtungen, die beim monoklinen Orthoklas senkrecht aufeinander, beim triklinen Plagioklas im Winkel von 94° zueinander stehen. Da die Kristalle der verschiedenen Feldspate einander sehr ähnlich sehen, sind diese häufig nur durch ihre chemische Zusammensetzung zu unterscheiden. Die monoklinen Feldspate bestehen aus Kalium, Tonerde und Kieselsäure (Kalifeldspate), die triklinen enthalten statt des Kaliums entweder Natrium (Natronfeldspat) oder Kalzium (Kalkfeldspat) oder Natrium und Kalzium gemischt (Kalknatronfeldspate).

Wenn die Feldspate im Boden verwittern, so werden die leicht löslichen Alkalien durch das Bodenwasser hinweggeführt, und es bleibt Ton oder Kaolin übrig. Nehmen sie dagegen im Boden Wasser auf, so entstehen Zeolithe.

Orthoklas ist Kaliumaluminiumsilikat ($K_2Al_2Si_6O_{16}$). Die monoklinen Kristalle sind häufig zu Zwillingen in verschiedener Weise verwachsen (Abb. 103 u. 104). Reine, wasserklare Kristalle heißen nach ihrem Vorkommen Adular (Mons Adula = St. Gotthard); in Ceylon vorkommende zeigen bisweilen einen bläulichen Schimmer und werden als Mondstein verschliffen.

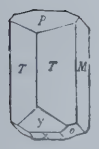


Abb. 103. Feldspat. Einfacher Kristall.

Abb. 104. Feldspat. Zwilling.

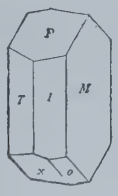


Abb. 105. Albit. Einfacher Kristall.

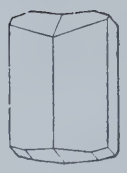


Abb. 106. Albit. Zwilling.

Glasglänzender, farbloser Feldspat mit zahlreichen feinen Rissen heißt Sanidin. Gemeiner Feldspat schließlich ist infolge der beginnenden Verwitterung matt und trübe und kommt in verschiedenen Farben vor.

Plagioklas. Zu den Plagioklasen gehört zunächst der weiße Albit ($Na_2Al_2Si_6O_{16}$). Seine triklinen Kristalle zeigen sehr häufig Zwillingsbildung (Abb. 105 u. 106); sie finden sich auf Spalten in den Silikatgesteinen, während Plagioklas in derber Ausbildung in zahlreichen Eruptivgesteinen vorkommt.

Ein Kalzium-Aluminiumsilikat ist der als Gemengteil von Eruptivgesteinen häufige Anorthit; Kalknatronfeldspate sind Oligoklas, Andesin (nach den amerikanischen Andes genannt) und Labradorit (Vorkommen auf der Halbinsel Labrador). Dieser letztere zeigt bisweilen ein sehr schönes Farbenspiel in blauen und grünen, bisweilen auch gelblichen Tönen, das durch Einlagerung fremder Mineralien bedingt ist und das ihn zum schleifwürdigen Edelstein macht.

Leuzit. $(K, Na)AlSi_2O_6$, kristallisiert regulär und rhombisch, zumeist in Form der Ikositetraeder oder Leuzitoeder. Seine Härte beträgt 5,5—6, seine Färbung ist weißlich, er findet sich häufig in jüngeren vulkanischen Gesteinen, z. B. in Basalten und Phonolithen, aber auch in der Lava des Vesuvs.

Kaolin. Bei der Verwitterung der Feldspate bleiben Kieselsäure und Tonerde zurück und ergeben mit Wasser Kaolin ($H_4Al_2Si_2O_9$). Kaolin bildet zumeist erdige Massen, welche im reinen Zustand schneeweiß sind. Mit Wasser verrührt, ergeben sie eine plastische Masse, die auch in großer Hitze nicht schmilzt. Auf diesen Eigenschaften beruht die Porzellanfabrikation, zu der allerdings nur eisenfreie Kaoline verwendet werden können. Wichtige deutsche Lager von Kaolin- oder Porzellanerde befinden sich in Sachsen (bei Meißen), nördlich von Halle, in der Oberpfalz und in Thüringen.

Verunreinigte Kaoline bilden die plastischen **Tone**, die, hell gefärbt, zur Herstellung feiner Tonwaren, Fayencen, Majolika, Steingut, dienen. Die braunen Tone sind dagegen aus der Verwitterung eisenoxydhaltiger Tonerdesilikate hervorgegangen. Sie sind nicht feuerbeständig und brennen sich wegen des Eisenoxydgehaltes rot. Aus ihnen stellt man die gewöhnlichen Töpferwaren, die Ziegel und Backsteine her. Während solche Tone sehr weit verbreitet sind, finden sich reine Tone in Deutschland nur an wenigen Stellen, so im Westerwald, in Hessen, bei Klingenberg am Main und bei Bunzlau in Schlesien.

Ist dem Ton viel Sand und Kalk beigemischt, so bezeichnet man ihn als Lehm. Manche gefärbte Tone dienen als Farben, so die braungelbe Terra de Siena aus Toskana und die braune Umbra von Zypern.

b) Gruppe der Augite und Hornblenden.

Augit ist ein Kalkmagnesiasilikat mit Tonerde und Eisen. Die monoklinen Kristalle (Abb. 107 und 108) sind dunkelgrün oder dunkelbraun. Augite sind wichtige Gemengteile vieler Eruptivgesteine. Rhombische Augite (oder Pyroxene) sind die drei Mineralien Enstatit, Bronzit und Hypersthen; auch diese treten in vielen Gesteinen auf.

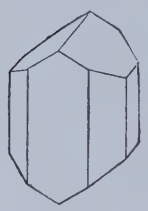


Abb. 107. Augit. Einfacher Kristall.

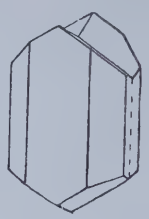


Abb. 108. Augit. Zwilling.

Hornblende (Amphibol) enthält dieselben chemischen Bestandteile wie Augit, unterscheidet sich von diesem aber durch deutlichere Spaltbarkeit, durch niedrigeres spez. Gewicht (3,1:3,3) und einige kristallographische Details. Die verschiedenen Abarten der Hornblende sind wichtige Gemengteile alter Gesteine.

Zu den tonerdefreien Hornblenden gehört der dichte, grüne bis graue Nephrit, der im Kuen-lun-Gebirge in Zentralasien, aber auch an einigen Stellen Europas vorkommt und in prähistorischer Zeit, wie auch heute noch von den Eingeborenen Neuseelands, zu Werkzeugen verarbeitet wurde.

Eine sehr feinfaserige Varietät der Hornblende ist der Asbest oder Bergflachs. Da seine Fasern biegsam sind, lassen sie sich spinnen und weben und werden deshalb zu unverbrennlichen Geweben verarbeitet. Sind die Fasern filzig miteinander verbunden, so spricht man von Bergleder oder Bergkork. Asbest wird in Tirol, in Norditalien (Veltlin und Provinz Turin), im Ural und in Kanada gewonnen.

Olivin ist eine isomorphe Mischung von kieselsaurer Magnesia und kieselsaurem Eisenoxydul $(MgFe)_2SiO_4$. Er kristallisiert rhombisch, ist olivgrün bis gelblichtgrün gefärbt, durchsichtig oder durchscheinend. Klare Kristalle aus Oberägypten werden unter dem Namen Chrysolith als Schmucksteine gehandelt. In kleinen Kristallen oder körnigen Aggregaten findet sich Olivin in vielen Gesteinen, ja, er tritt als Olivinfels auch gesteinbildend auf. Bei der Verwitterung geht Olivin häufig in Serpentin über.

c) Gruppe der Glimmer.

Unter der Bezeichnung Glimmer faßt man eine Anzahl monoklin kristallisierender Mineralien zusammen, die sich durch sehr vollkommene Spaltbarkeit nach einer Richtung auszeichnen. Die Spaltstücke zeigen Perlmutterglanz und sind elastisch biegsam. In chemischer Hinsicht unterscheidet man Kali- und Magnesiaglimmer, je nachdem, ob die Glimmer außer Tonerde und Kieselsäure noch Kalium oder noch Magnesia enthalten.

Kaliglimmer oder Muskovit (Muskovia = Rußland) ist stets hellgefärbt, grau, gelblich oder bräunlich. Er ist ein wesentlicher Bestandteil älterer Eruptivgesteine, findet sich aber auch in großen Tafeln (Ural, Indien, Nordamerika), die wegen ihrer Durchsichtigkeit und ihrer Unveränderlichkeit in der Hitze als Ofenfenster verwendet werden.

Magnesiaglimmer oder Biotit (nach dem Physiker Biot genannt) unterscheidet sich von Muskovit durch dunkle Färbung infolge von Eisengehalt. Auch er findet sich häufig in Eruptivgesteinen; seine Härte liegt zwischen 2,5 und 3.

d) Talk-Serpentingruppe.

Talk ist wasserhaltiges Magnesiasilikat ($H_2Mg_3Si_4O_{12}$) von weißlicher Färbung und sehr geringer Härte (1). Er findet sich in derben Massen, die nach einer Richtung vollkommen spaltbar sind; dünne Stücke sind durchscheinend. Gesteinbildend tritt Talk im Talkschiefer der Alpen (Tirol, Steiermark, St. Gotthardgebiet, Piemont) auf; dichter, weißer Talk heißt Speckstein, er wird durch Brennen hart und dient als Oberstück bei Gasbrennern. Sonst wird Talk als Schmiermittel bei Holzteilen und als Schneiderkreide verwendet, aus harten Stücken werden feuerfeste Töpfe gedreht (Topfstein) und in China kleine Bildwerke geschnitzt (Agalmatolith = Bildstein).

Serpentin ist ebenfalls ein wasserhaltiges Magnesiumsilikat ($H_4Mg_3Si_2O_9$). Er kommt in dichten Massen von gelblicher bis grünlicher Färbung vor, ist schwach durchscheinend, besitzt Härte 3—4 und entsteht hauptsächlich durch Verwitterung des Olivins. Gesteinbildend tritt Serpentin in Sachsen, im Fichtelgebirge, im Schwarzwald und in den Alpen auf und wird zu Schalen und Skulpturen verarbeitet. Bisweilen ist er faserig ausgebildet und wird als Serpentinasbest genau wie Asbest verwendet.

Ein Zersetzungsprodukt des Serpentins ist **Meerschaum** ($H_4Mg_2Si_3O_{10}$). Er bildet erdige weiße Knollen und ist sehr porös. Das Hauptvorkommen liegt bei Eskischehir an der anatolischen Bahn in Kleinasien; der Meerschaum wird hier gereinigt und getrocknet und dann nach Europa und Amerika versandt, wo Pfeifenköpfe und Zigarrenspitzen aus dem durch Einlegen in Wasser plastisch werdenden Mineral gedrechselt werden. Der Hauptsitz der deutschen Meerschauminduſtrie ist das Städtchen Ruhla bei Eisenach; hier wurden vor dem Kriege 1200000 Pfeifenköpfe und Spitzen hergestellt, allerdings zum großen Teil auch aus gepreßten Abfällen.

e) Gruppe der Granate.

Granat ist der Sammelname für eine ganze Reihe von Mineralien, die sämtlich durch das reguläre Rhombendodekaeder (Granatoeder) oder seine Kombination mit dem Ikositetraeder ausgezeichnet sind (Abb. 109 u. 110). Sie enthalten außer Kieselsäure Tonerde (Tongranat) oder Eisenoxyd (Eisengranat) oder daneben noch Kalk, Magnesia und andere Elemente. Ihre Farbe ist zumeist rot, manchmal weiß, grün, schwarz. Die Kristalle sind glasglänzend, durchsichtig bis undurchsichtig und haben eine Härte von 7—8. Granate finden sich in manchen Gesteinen ziemlich häufig, klare durchsichtige Stücke sind geschätzte Edelsteine. Im einzelnen unterscheidet man: hyazinthroten Kaneelstein (Ceylon), grünen Grossular und roten Pyrop, der seit alters in Böhmen auf Seifen gefunden wird und hier die ausgedehnte böhmische Granatinduſtrie bedingt hat, während

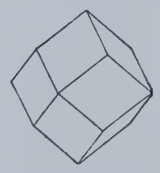


Abb. 109. Granatoeder (Rhombendodekaeder).

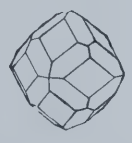


Abb. 110. Granatoeder mit Ikositetraeder.

die in Südafrika auf den Diamantfeldern vorkommenden Granaten als Kaprubine geschätzte Schmucksteine darstellen. Der blutrote edle Granat oder Almandin (nach Alabanda, einer Stadt in Karien, genannt) wird in Brasilien, Indien und auf Ceylon gewonnen, er wurde schon im Altertum als Karfunkelstein vielfach verarbeitet. Auch Kalkeisengranate kommen in mehreren Variationen vor, namentlich als kleine Körner in zahlreichen Gesteinen.

Zur Granatgruppe gehört auch der **Beryll,** der neben Kieselsäure und Tonerde noch das seltene Element Beryllium enthält ($Be_3Al_2Si_6S_{18}$). Die hexagonalen Kristalle sind glasglänzend, durchsichtig und zumeist gefärbt. Gemeine Berylle finden sich als derbe Massen in Eruptivgesteinen (Bodenmais im Bayerischen Wald), riesige Kristalle bis 1500 kg Gewicht kommen bei Grafton in New Hampshire vor. Edle Berylle sind farblos oder gefärbt, und zwar entweder meergrün, wie der Aquamarin oder goldgelb wie der Goldberyll. Hauptfundorte sind Sibirien und Brasilien (Minas Geraes). Besonders wertvoll sind die grünen Smaragde, von denen die besten aus Kolumbien (Muso) und vom Ural stammen.

f) Topasgruppe.

Topas, nach der Insel Topazos im Roten Meer genannt, besteht aus Kieselsäure, Tonerde und dem Element Fluor ($5\,Al_2SiO_2 \cdot Al_2SiF_{10}$). Er kristallisiert rhombisch, zeigt Glasglanz und ist farblos oder gefärbt. Dunkelgelbe Topase kommen aus Brasilien (Minas Geraes), ebenso farblose und bläuliche, die Edeltopas genannt werden und wie Brillanten verschliffen werden. Begehrte Stücke werden auch im Ural und im Ilmengebirge gefunden, während die hellgelben Topase des Schneckensteins im Vogtland keine Verwendung finden. Mit dem Namen Topas wird viel Unfug getrieben, denn Rauchtopas, Goldtopas, spanischer Topas sind Quarzvarietäten und vom echten Topas durch die geringere Härte (7 gegen 8) unschwer zu unterscheiden.

I. IX. Klasse: Harze.

Bernstein (eigentlich Brennstein) ist das Harz vorweltlicher Nadelhölzer. Er findet sich in Form von Tropfen und Knollen, ist hellgelb bis gelbrot gefärbt, klar oder getrübt und weich (Härte 2). Beim Verbrennen strömt er einen aromatischen Geruch aus; durch Reiben wird er elektrisch.

Seit Urzeiten sind das Samland und einige andere Küstenstriche der Ostsee Fundorte für Bernstein, der entweder in der sog. Blauerde eingebettet ist oder durch den Wellenschlag auf den Strand geworfen wird. Die bernsteinführenden Schichten liegen teils am Strand, teils im Meer, so daß der Bernstein entweder durch Graben (Bergwerke bei Palmnicken, nördlich von Pillau) oder durch Baggern (Kurisches Haff) gewonnen werden kann. Die Jahresausbeute beträgt ungefähr 440 t.

Beim Hinabfließen an den Stämmen hat das Harz vielerlei Pflanzen- und Tierreste eingeschlossen, deren Einzelheiten man im Bernstein noch heute studieren kann, trotzdem der organische Rest selbst längst verwest und nur der von ihm innegehabte Luftraum mit einigen widerstandsfähigeren Teilen übriggeblieben ist.

Bernstein wird zu Schmuckstücken und Pfeifenspitzen verarbeitet; billigere Stücke werden aus flüssig gemachten Bernsteinstücken gepreßt; aus Abfällen wird Bernsteinlack gewonnen.

Asphalt, Erdpech oder Bitumen ist oxydiertes Petroleum. Asphalt ist schwarz, undurchsichtig, schmilzt bei 100° und hat einen charakteristischen, „bituminösen" Geruch, den er auch allen Gesteinen mitteilt, in denen er vorhanden ist. Asphalt findet sich teils in Lagern am Toten Meer (deshalb auch Judenpech genannt), teils auf Klüften und Gängen (Harz), teils fein verteilt in Kalken und Sandsteinen. Der beim Straßenbau verwendete Asphalt ist zumeist künstlich aus Steinkohlenteer hergestellt.

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 111. In Brand geratene riesige Petroleumspringquelle bei Baku. Der Boden ist mit Petroleum überschwemmt und durchtränkt.

Das **Petroleum** oder Erdöl selbst ist ein bei gewöhnlicher Temperatur flüssiges Gemenge der verschiedensten Kohlenwasserstoffe. Petroleum tritt in größerer Menge vom Oberdevon an auf und findet sich in allen jüngeren Formationen. Die Petroleumlager stehen stets in Verbindung mit Steinsalz oder mit Salzsolen und werden zumeist in Gebieten großer Faltungen und Verwerfungen angetroffen.

Monke und Beyschlag haben ihre Ansichten über die Entstehung des Petroleums dahin zusammengefaßt, daß das Erdöl sich aus verfaulten, nicht aus verkohlten organischen Resten gebildet hat. Die Fäulnisprodukte wandern auf Gebirgsspalten aufwärts und konzentrieren sich an gewissen Stellen zu großen Reservoiren. Die Entstehung des leichtflüssigen Erdöls aus dem primären Gesteinsbitumen erfolgt

nicht durch Vulkanismus, sondern durch Salzwasser unter Mitwirkung von Druck und Wärme.

Bedeutende Erdöllager treffen wir an beiden Rändern des Kaukasus an, ferner längs dem Karpathenbogen. In Deutschland wird Erdöl im Allertal bei Vietze (Prov. Hannover) gewonnen. In Nordamerika hat man vier gewaltige Petroleumfelder zu unterscheiden, von denen das älteste das appalachische im Westen der Staaten New York und Pennsylvanien ist, das allmählich seiner Erschöpfung entgegengeht. An seine Stelle treten mehr und mehr die Ölfelder von Ohio, Indiana, Illinois, Texas und Kansas. In Südamerika liefern Peru, Argentinien und Trinidad das flüssige Mineral, auch die Sundainseln beherbergen Petroleum, und auf dem asiatischen Kontinent ist es an verschiedenen Teilen nachgewiesen worden, wenn auch die Vorräte (z. B. in China) noch der Erschließung harren.

Das Erdöl wird von hölzernen Bohrtürmen aus erbohrt. Der Springquell hält mitunter jahrelang an, und der Druck kann so groß sein, daß das Öl 100 m hoch emporgeschleudert wird. Die Tiefe der Öllager ist verschieden: bei Baku trifft man auf sie meist zwischen 120 und 150 m, in Pennsylvanien erst zwischen 600 und 800 m. Häufig geraten die Ölquellen in Brand, da das Rohöl sehr leicht entzündlich ist. Durch Raffinieren trennt man aus dem Rohöl die leicht siedenden Brennöle von den schweren Schmierölen; daneben ergeben sich noch zahlreiche andere wertvolle Nebenprodukte.

IV. Die wichtigsten Gesteine.

(Grundzüge der Gesteinskunde.)

A. Allgemeine petrographische Bemerkungen.

Die Wissenschaft, welche sich mit der chemischen Zusammensetzung, mit der Ausbildungsform und dem Vorkommen der Gesteine beschäftigt, heißt Gesteinskunde oder Petrographie; sie ist das Bindeglied zwischen Mineralogie und Geologie oder Erdgeschichte.

Stößt man schon bei der Bestimmung von Mineralien nach äußeren Merkmalen auf mancherlei Schwierigkeiten, so setzt die genaue Definierung der Gesteine noch weit eingehendere Vorkenntnisse voraus. Zwar weiß der Laie wohl die Haupttypen der Gesteine auseinanderzuhalten, einen Granit von einem Porphyr, einen Sandstein von einem Kalkstein zu unterscheiden; gilt es aber, genauere Bestimmungen durchzuführen, so muß man zu exakten Untersuchungsmethoden greifen. Ein Granit aus dem Harz und ein Granit aus den Alpen sind wohl in der allgemeinen Zusammensetzung gleich, sie unterscheiden sich aber wesentlich in Einzelheiten, und man hat, ähnlich wie im Reiche der Organismen, förmliche Reihen „blutsverwandter" Gesteine aufgestellt und dadurch das Verwandtschaftsverhältnis der einzelnen Gesteinstypen geklärt.

Ein wesentliches Hilfsmittel zur Bestimmung bietet die Untersuchung der Gesteine unter dem Mikroskop, und zwar im gewöhnlichen wie im polarisierten Licht. Man schleift zu diesem Zwecke kleine Splitter der Gesteine so dünn, daß sie möglichst durch-

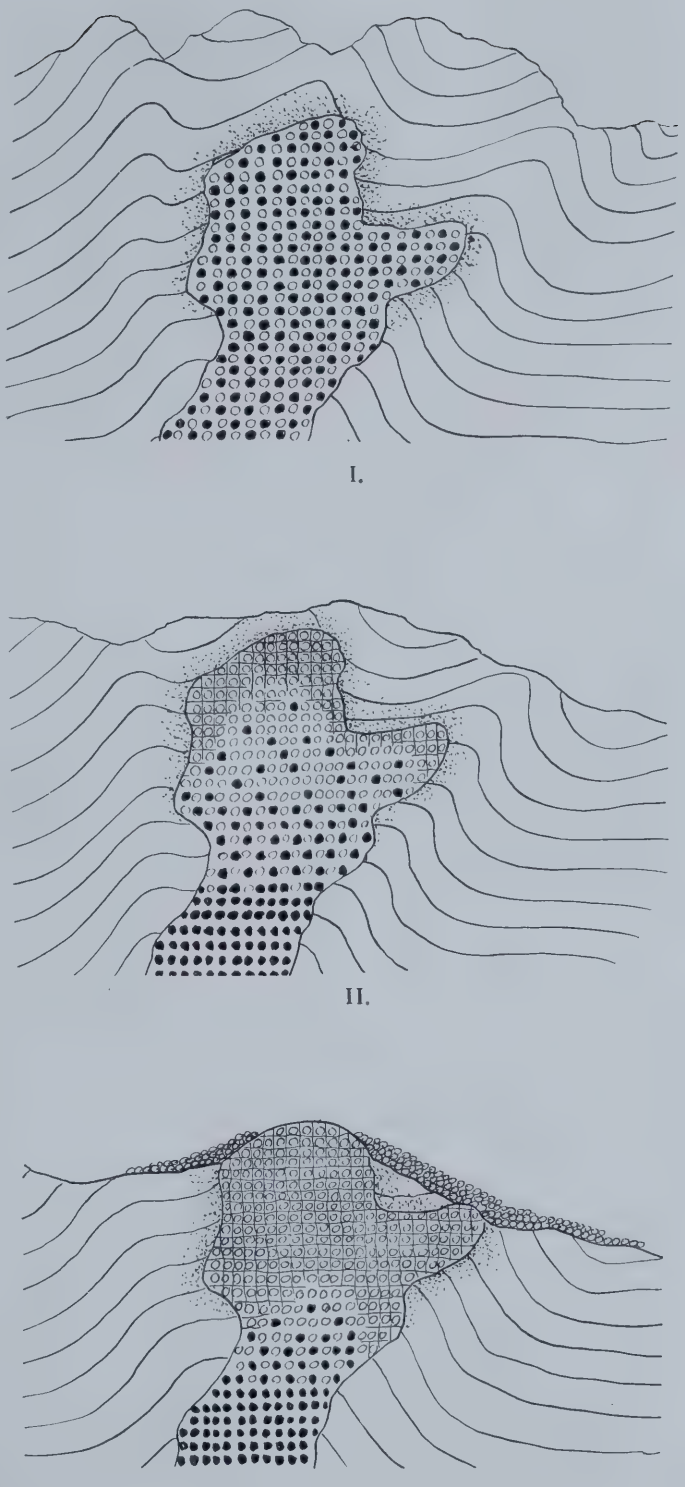


Abb. 112.

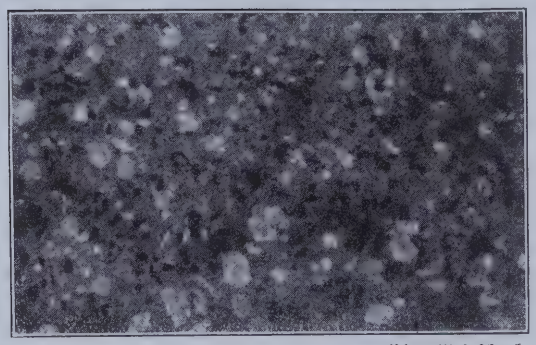
I. Bei der Faltung eines Stückes Erdrinde ist unterirdisches Mischmagma, bestehend aus eisenreichen (schwarze Punkte) und kieselsäurereichen Teilen (helle Punkte) in das Faltengebirge eingedrungen und hat die benachbarten Schichten kontaktmetamorph verändert (feine Punktierung).

II. Infolge von Abtragung der obersten Schichten des Faltengebirges beginnt das kieselsäurereiche Magma als Granit zu erkalten (quadrierte Stellen), während das eisenreiche Magma in die Tiefe sinkt.

III. Die Abtragung hat den erstarrten Granit freigelegt, aus dem durch Verwitterung Sandmassen (kleine Kreise) entstehen. Das eisenreiche Magma in der Tiefe ist noch glühend (n. Walther).

sichtig werden. Diese „Dünnschliffe" lassen dann den Mineralbestand sehr deutlich hervortreten, da sich die einzelnen Mineralien im polarisierten Licht verschieden verhalten; man kann aber außerdem aus dem Gefüge noch mancherlei Schlüsse auf die Entstehung der Gesteine und ihre Umwandlungen ziehen.

Auf Seite 106 war schon der grundsätzliche Unterschied zwischen den Eruptiv- und den Sedimentgesteinen festgestellt worden. Die ersteren zeigen ein richtungsloses Gefüge

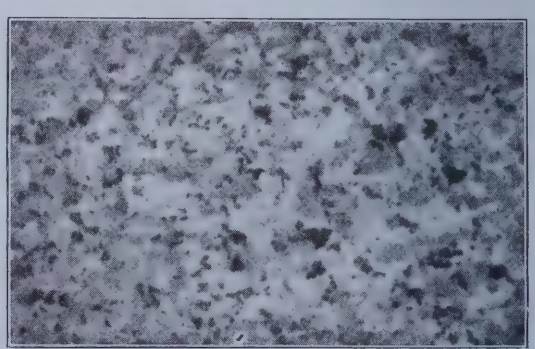


Phot. Weinschenk.
Abb. 113. Porphyrisches Gefüge eines Quarzporphyrs.

ohne jegliche Schichtung und werden deshalb auch als Massengesteine bezeichnet, während die Sedimentgesteine, entsprechend ihrer Bildung durch Absatz, eine deutliche Schichtung aufweisen. Während in den Eruptivgesteinen Reste von Organismen niemals zu erwarten sind, treten diese in den Sedimenten häufig auf, ja, gewisse Schichtgesteine, wie der Muschelkalk oder die Kreide, setzen sich fast gänzlich aus Schalen von tierischen Lebewesen zusammen.

Außer den beiden genannten Gruppen gibt es noch Gesteine, die ihre mineralogische Zusammensetzung und ihr Gefüge im Laufe der geologischen Vergangenheit geändert haben. Solche Veränderungen sind beispielsweise festzustellen, wenn in der Nähe des betreffenden Gesteins späterhin glühflüssige Gesteinsmassen emporbrangen. Durch die entstehende hohe Temperatur wurden gewisse Bestandteile des Nebengesteins eingeschmolzen, durch eindringende überhitzte Dämpfe und heiße Lösungen von Mineralien wurde das Mineralgefüge weitgehend geändert, wobei der auf das alte Gestein ausgeübte ungeheure Druck natürlich auch seinen Einfluß ausübte. Die Gesamtwirkung der genannten Erscheinungen faßt man unter den Begriff der Kontaktmetamorphose (Veränderung durch Berührung) zusammen; diese ist natürlich auch an den Rändern des Eruptivgesteins nachzuweisen, und zwar um so mehr, je näher man an die eigentliche Kontaktzone herankommt. Wo der Durchbruch des Eruptivgesteins die Oberfläche der Erde erreicht hat, kann man förmliche Kontakthöfe beobachten; man verfolgt dann schrittweise die allmähliche Umwandlung beider Gesteine, wie es auf der Abb. 112 schematisch angedeutet ist.

Für die Erkennung der Gesteine sind Größe und Anordnung ihrer mineralischen Bestandteile von großer Wichtigkeit. Je nach dem Ausmaß dieser „Gemengteile" unterscheidet man groß-, grob-, mittel-, klein- und feinkörnige Gesteine; auch bei den letztgenannten sind die einzelnen Mineralien noch mit der Lupe deutlich zu unterscheiden. Gelingt dies nicht mehr, so spricht man von dichten Gesteinen, wie sie etwa Kalk oder Basalt darstellen. Bei diesen dichten Gesteinen treten bisweilen aber aus der gleichförmig erscheinenden Grundmasse einzelne größere Mineralindividuen hervor, die wie Rosinen im Kuchen darin stecken und als Einsprenglinge bezeichnet werden. Ein typisches Beispiel für diese Ausbildungsform



Phot. Weinschenk.
Abb. 114. Granitisches Gefüge: Granit von Baveno.

bilden die porphyrischen Gesteine; ihre Entstehung ist so zu deuten, daß sich zunächst die Einsprenglinge noch ausbilden konnten, während dann später die übrige Mineralmasse in ihrer Gesamtheit erstarrte (Abb. 113). Bei den körnigen Gesteinen dagegen ging die Erstarrung so langsam vor sich, daß nicht nur eines, sondern mehrere Mineralien sich als Kristalle nacheinander ausbilden konnten und der Rest der Masse dann die übrigbleibenden Zwischenräume zwischen den verschiedenen Kristallen ausfüllte (Abb. 114).

Die aus nur einem Mineral bestehenden einfachen Gesteine sind selten; die große Mehrzahl der Gesteine ist aus mehreren Mineralien zusammengesetzt. Aber auch bei diesen gemengten Gesteinen muß man zwischen den Hauptgemengteilen, die den typischen Charakter des Gesteines ausmachen, und den Nebenbestandteilen, die zwar häufig, aber immer nur in geringer Menge enthalten sind, scharf unterscheiden. Granit beispielsweise enthält stets Feldspat, Quarz und Glimmer; wird in einem sonst granitähnlichen Gestein der Quarz sehr spärlich oder fehlt er sogar gänzlich, so ist dieses kein Granit mehr, sondern ein Syenit. Zwischen beiden aber verläuft eine ununterbrochene Reihe, so daß eine eindeutige Abtrennung unmöglich ist.

Bevor wir mit der Beschreibung der wichtigsten Gesteine beginnen, seien noch einige allgemeine Verhältnisse erwähnt, die für die technische Verwendung der Gesteine von Bedeutung sind. Zu diesen rechnen wir die Gewinnbarkeit, die Bearbeitbarkeit, die Festigkeit, die Wasserdurchlässigkeit, die Feuerfestigkeit, die Farbe, die Polierfähigkeit und, soweit es sich um chemisch nutzbare Gesteine handelt, die chemische Zusammensetzung.

Die Gewinnbarkeit eines Gesteines ist einmal durch seine geographische Lage, ein anderes Mal durch seine geologische Lagerung bestimmt. Zahlreiche ergiebige Erzlager können beispielsweise nicht abgebaut werden, weil sich der Transport des Erzes bis an die Stätten der Verarbeitung zu teuer stellen würde. Namentlich wenn es sich um die Verfrachtung auf dem Landwege handelt, spielt jeder Kilometer Eisenbahnfracht eine Rolle, soweit es sich um geringwertige Gesteine handelt. Aber selbst bei günstiger Verkehrslage wird der Preis noch durch die geologische Lagerung beeinflußt. Für die meisten Gesteine lohnt sich der Abbau nur dann, wenn sie im Tagebau gewonnen werden können. Steinbrüche müssen häufig schon aufgegeben werden, wenn der Abraum, also der Verwitterungsschutt oder das unbrauchbare Gestein, zu mächtig wird. Handelt es sich dagegen um wertvolle Gesteine, so geht der Tagebau auch wohl in Tiefbau über. So waren die Katakomben Roms unterirdische Steinbrüche. Eine besondere Gewinnungsmethode wird in den großen Kalkbrüchen von Rüdersdorf in der Mark angewendet. Man ist hier schon weit hinabgestiegen und fördert das Gestein, indem man eine Reihe Stollen in die Wand vortreibt, diese durch Gänge miteinander verbindet und sodann die übrigbleibenden Pfeiler absprengt, so daß die darüberliegende Wand abstürzt (Abb. 115).

Auch die Braunkohlen im Magdeburger und Leipziger Revier werden häufig im Tagebau gewonnen, da hier nur geringer Abraum in Form von Sand und Lehm über dem nutzbaren Gestein lagert. Die Steinkohlen lassen sich dagegen nur im Tiefbau erschließen, und das gleiche gilt für die meisten Erze, für Steinsalz und Kalisalze.

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 115. Stollen im Rüdersdorfer Kalkbruch.
Die zunächst als Stützen stehenbleibenden Pfeiler werden schließlich gesprengt, und die gesamte Felswand stürzt herab.

Wegen der zunehmenden Temperatur sind dem menschlichen Eindringen in die Erde bei 2000 m Tiefe vorläufig unüberwindliche Schranken gesetzt. Bereits in 1500 m Tiefe weist das Gestein Temperaturen von 50° und mehr auf, die aber durch Ventilationseinrichtungen (sog. Bewetterung der Stollen) auf 30° hinabgedrückt werden können. Mit zunehmender Tiefe werden außerdem auch die Gewinnungsmöglichkeiten immer schwieriger, und die größere Förderlänge erschwert den Transport der Nutzgesteine an die Erdoberfläche.

Einen möglichst billigen Abbau im Hinblick auf die erwiesene oder mutmaßliche geologische Lagerung des Gesteins zu erzielen, ist Aufgabe der praktischen Geologie. Weiterhin muß verhütet werden, daß sich Grundwasser in Tagebauen und Stollen ansammelt und die Gruben zum „Ersäufen" bringt. Soweit das Grundwasser nicht durch Pumpen gehoben werden kann, muß es durch besondere Stollen abgeleitet werden, wie sie schon vor Jahrhunderten in mustergültiger Weise im Oberharzer Bergbau angelegt wurden. Entwässern doch z. B. der bei Bad Grund mündende, nach 22jähriger Arbeit im Jahre 1799 fertiggestellte, 20,5 km lange „tiefe Georgsstollen" die Gruben von Clausthal, Zellerfeld und Bockswiese und der 26 km lange Ernst-August-Stollen sämtliche Gruben des Oberharzes.

Auch die Härte der Gesteinsmassen ist für den Abbau von Wichtigkeit. Während die Eruptivgesteine und die meisten Schichtgesteine nur mittels Sprengung oder Keilarbeit bewältigt werden können, lassen sich weniger feste Gesteine mit Spitzhacke und Brecheisen, lockere sogar mit der Schaufel gewinnen. Dabei nimmt man

Phot. Underwood & Underwood.

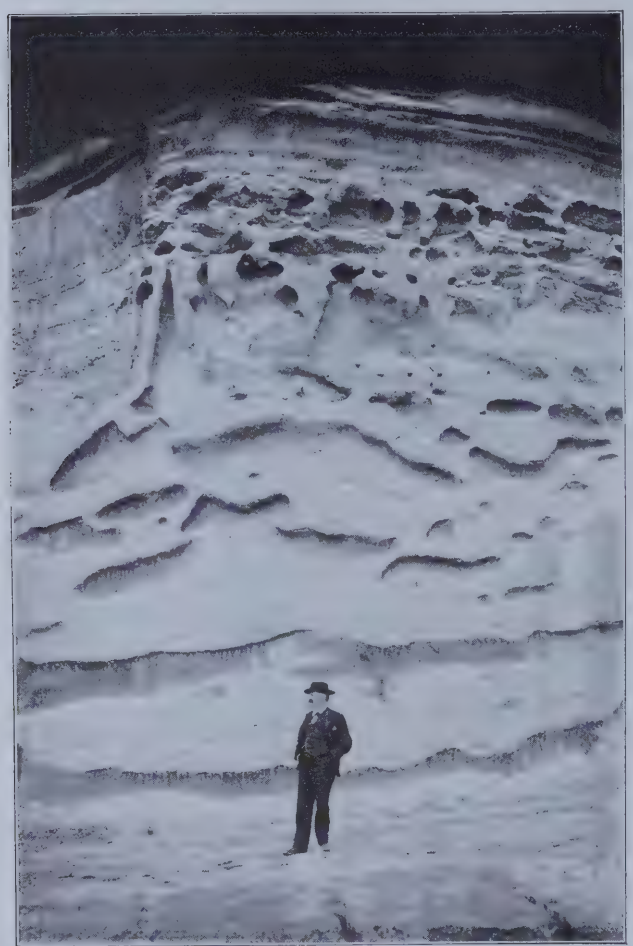
Abb. 116. Der größte behauene Felsblock bei Baalbek, $21^1/_2$ m lang, etwa 1700 t schwer.

auf die natürliche Klüftung des Gesteins weitgehendst Rücksicht. Dicke Schichten gestatten bisweilen das Herauslösen riesiger Säulen und Quadern; der Obelisk von Luxor ist beispielsweise ein einheitlicher Block von 22,8 m Länge, die Werksteine des Baalbektempels in Syrien sind z. T. über 20 m lang; ihr Transport von der Gewinnungs- zur Baustelle bildet ein bisher ungelöstes Problem (Abb. 116).

Die Bearbeitbarkeit eines Gesteines ist nicht nur von der Härte, sondern auch von der Verbandsfestigkeit seiner Teilchen abhängig. Gesteine, die härter als Stahl (Härtegrad 6) sind, lassen sich schwer bearbeiten, da die Stahlbohrer schon nach kurzem Gebrauch stumpf werden und Diamantbohrer benutzt werden müssen. In bergfeuchtem Zustand sind allerdings manche Gesteine (Sandsteine, Feuersteine) verhältnismäßig leicht bearbeitbar. Je härter ein Gestein ist, um so größeren Widerstand wird es auch der Verwitterung entgegensetzen. Treppenstufen aus Sandstein werden leicht abgetreten, auf Sandsteindenkmälern verwischen sich die Feinheiten der Skulptur, was besonders an gotischen Kirchen beobachtet werden kann. Ist das Gestein nicht ganz einheitlich zusammengesetzt, so leisten die härteren Partien der Verwitterung größeren Widerstand (Abb. 117); der Stein erhält dadurch eine rauhe Oberfläche, was bei seiner Verwendung zu Bordsteinen oder Mühlsteinen sehr erwünscht ist.

Will man Gesteine für Bauzwecke verwenden, so spielt ihre Druckfestigkeit eine große Rolle. Diese hängt ebenso von der Härte der einzelnen Mineralien, wie von ihrem Verband im Gestein ab. Das gleiche gilt auch für Beton; während des Krieges wurden für die Herstellung von bombensicheren Unterständen ungeheure Mengen von Beton gebraucht, bei dem nicht — wie sonst üblich — Kies, sondern

zerstückeltes Gestein zur Verwendung gelangte. Um die Druckfestigkeit zu prüfen, werden Würfel des Gesteins oder des Betons hergestellt und unter der hydraulischen Presse bis zum Zerbrechen belastet. Die Druckfestigkeit wird durch Angabe der Höchstbelastung in Kilogramm auf den Quadratzentimeter bezeichnet, sie beträgt bei Sandsteinen 300—800 kg/qcm, bei Kalksteinen 500—1200 kg/qcm, bei Graniten 800—2500 kg/qcm und bei Basalten bis 5000 kg/qcm. Neben der Druckfestigkeit müssen natürlich auch die Zugfestigkeit und Biegungsfestigkeit, die viel geringer als die erstere sind, in Betracht gezogen werden.



Phot. Gazert.

Abb. 117. Verwitterungserscheinungen an einer aus abwechselnden Lagen von Sand- und Bimsstein bestehenden Wand. Die weicheren Teile sind viel stärker zerstört als die härteren.

Die Wetterbeständigkeit ist bei den technisch nutzbaren Gesteinen sehr verschieden. Durch Aufnahme von Wasser erweichen tonige Bestandteile eines Gesteines und machen dasselbe locker, besonders, wenn es dem Gefrieren ausgesetzt ist, da das Eis ein größeres Volumen als Wasser beansprucht (1,09 : 1 ccm) und das Gefüge auseinandersprengt. Das eindringende Wasser löst aber auch Teile des Gesteins auf; Kalk und Marmor verlieren im Freien allmählich ihre Glätte und Politur. Neben dem im Wasser gelösten Kohlendioxyd wirken noch andere Säuren (schweflige Säure, Schwefelsäure), die sich namentlich in den Rauchgasen der Städte finden, zersetzend auf die Bausteine ein. Anhydrit, der in manchen Gegenden als Mörtel verwendet wird, wandelt sich allmählich unter Wasseraufnahme in Gips um und bedingt Verrenkungen und Verbiegungen, wie sie an den Giebeln der Häuser in Lüneburg besonders auffällig sind.

Auch Pflanzen zerstören Gesteine. Flechten besiedeln jeden Stein und graben winzige Vertiefungen hinein, die Wurzelfasern höherer Pflanzen zersetzen sogar

den Marmor, und Efeustämme und Baumwurzeln sprengen nicht nur Ruinen und altes Gemäuer, sondern auch feste Grabplatten.

Für die Technik ist weiterhin die verschiedene Durchlässigkeit der Gesteine für Wasser von Wichtigkeit. Die ganze Frage der Grundwasserverteilung und der Quellen hängt größtenteils hiervon ab, sie ist für die Geologie wie für das Geländebild so wesentlich, daß sie an anderer Stelle ausführlich behandelt werden wird.

Bei der Verwendung der Gesteine zu Bauzwecken spielt die Färbung eine große Rolle. Sie setzt sich aus den Farben der das Gestein bildenden Mineralien zusammen; überwiegt ein Gemengteil, so zeigt das Gestein zumeist auch annähernd dessen Farbe. Die rote Farbe vieler Bausandsteine rührt von Eisenoxyd (Fe_2O_3) her, die gelblichbraune von Brauneisenstein ($2\,Fe_2O_3 + 3\,H_2O$). Werden Tone zu Ziegeln gebrannt, so geht ihr Eisenhydroxyd in rotes Eisenoxyd über. Gesteine, welche Olivin oder Chlorit enthalten, weisen grünliche Färbung auf, während dunkle, namentlich schwarze Farbtöne auf organische Beimengungen hinweisen.

Die Färbung des Gesteins tritt nach der Politur noch deutlicher und schöner hervor, zugleich macht diese die Gesteine gegen schädigende Einflüsse widerstandsfähiger. Die Politur wird um so glatter, je einheitlicher das Gestein zusammengesetzt ist; besteht es aus verschieden harten Mineralien, so bleiben die weicheren häufig matt.

Bei der Verwendung von Gesteinen in der chemischen Industrie kommt die chemische Beschaffenheit allein in Betracht. Kohlen verlieren an Wert, wenn sie Schwefelkies enthalten, tonreicher Kalkstein eignet sich nicht zur Mörtelbereitung, unreiner Quarzsand nicht zur Herstellung von Glas.

B. Eigenschaften und Auftreten der wichtigsten Gesteine.

a) Eruptivgesteine.

Nach dem geologischen Auftreten hat Rosenbusch die Eruptivgesteine in Tiefengesteine, Ergußgesteine und Ganggesteine eingeteilt. Die Tiefengesteine sind aus dem Magma in der Tiefe erstarrt; sie haben also die Erdoberfläche nicht erreicht, sondern bilden im Innern der Erde große Massen, die nur dann sichtbar werden, wenn die einst darüberliegenden Schichten abgetragen worden sind. Da sie unter hohem Druck standen und ihre Wärme nur sehr langsam an das sie umgebende Nebengestein abgeben konnten, kristallisierten sie anders als die bis zur Oberfläche vordringenden Magmamassen der Erguß- (oder Oberflächen-) Gesteine. Allerdings sind auch hier Übergänge insofern möglich, als Tiefengesteine, die in Hohlräumen unter geringem Druck sich bildeten, den Oberflächengesteinen ähnlich werden, während anderseits die unteren Teile mächtiger Ergußmassen sich den Kristallisationsbedingungen von Tiefengesteinen nähern.

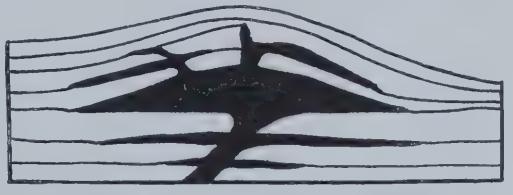


Abb. 118. Schema eines Tiefengesteins, das seine Ausläufer als „Gänge" in das benachbarte Schichtgestein entsendet.

Die typischen Tiefengesteine zeigen grobkörniges Gefüge, da sämtliche Mineralien sich während der allmählichen Abkühlung ausscheiden konnten, die typischen Oberflächengesteine bestehen aus kleineren Gemengteilen, sie sind häufig porphyrisch und enthalten glasige Bestandteile, die aus schneller Erstarrung der feurigen Schmelzflüsse hervorgehen. Die Ganggesteine schließlich, die als Ausfüllung von Spalten in der Erde entstanden sind, zeigen verschiedenes Verhalten.

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 119. Steinbruch im Granit des Fichtelgebirges. Das Gestein zeigt keinerlei Schichtung, ist aber durch zahlreiche Klüfte zersetzt.

Wegen der Unstimmigkeiten zwischen dem geologischen Verhalten und der mineralogischen Erscheinung hat man zweckmäßigerweise die indifferenten Namen Plutonite (nach Pluto, dem Gott der Unterwelt) und Vulkanite (nach Vulkanus, dem Gott des Feuers) eingeführt. Die letzteren, die also mit den Oberflächengesteinen identisch sind, lassen sich, wenn man die deutschen Vorkommen allein berücksichtigt, noch in alte (vortertiäre) Paläovulkanite und in junge (tertiäre und quartäre) Neovulkanite einteilen.

Familie der Granite. Die Hauptbestandteile des Granits, dessen Name sich vom lateinischen Wort granum, das Korn, ableitet, sind Alkalifeldspat (Orthoklas) und Quarz. Daneben finden sich zumeist Plagioklase und Glimmer (Muskovit und Biotit), häufig auch Hornblende und Augite. Nebenbestandteile sind Magneteisenerz, Eisenglanz, Zirkon, Apatit; gelegentlich treten noch Granat, Turmalin, Fluorit, Titanit hinzu.

Die Farbe des Granits wird durch diejenige der Feldspate bedingt, die im frischen Zustande weißlich bis blaßrot aussehen, bei beginnender Verwitterung aber gelb bis bräunlich erscheinen. Der Granitquarz ist farblos oder hell gefärbt, der Glimmer ist entweder dunkel (Biotit) oder hell (Muskovit).

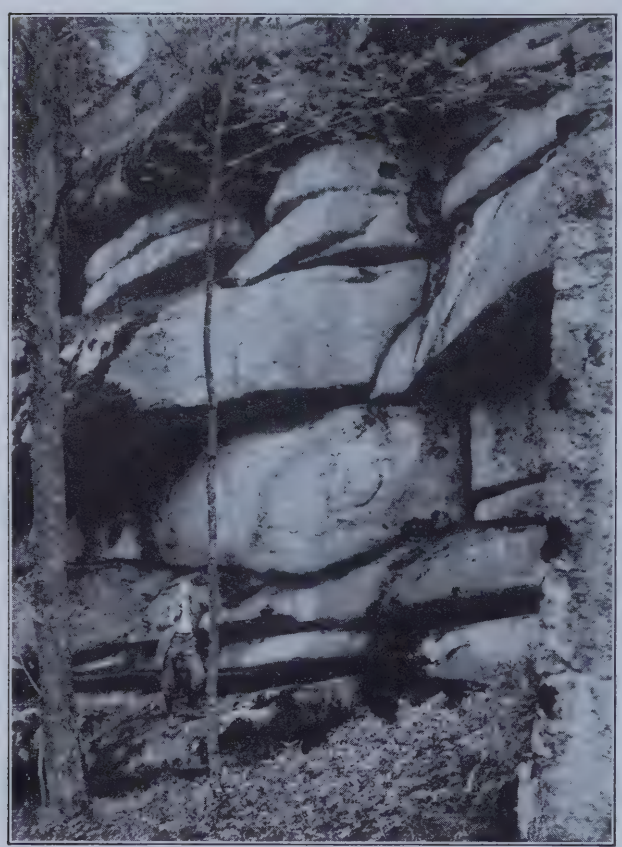
Abb. 120. Kugelförmige Granitklippen in Rhodesia.

Nach der Zusammensetzung unterscheidet man den verbreitetsten Biotitgranit oder Granitit (Feldspat, Quarz, Biotit), den Hornblendegranit (Feldspat, Quarz, Hornblende), den seltenen Augitgranit (Feldspat, Quarz, Augit) und Muskovitgranit (Feldspat, Quarz, Muskovit). Die sächsischen Granulite sind durch Regionalmetamorphose umgewandelte Granite. Unter Granitpegmatiten versteht man sehr grobkörnige Muskovitgranite, deren Gemengteile häufig große Kristalle bilden und die wegen des Vorkommens seltener Mineralien wichtig sind; sie entstanden wahrscheinlich aus dem wasserreichen Magmarest, der sich in Hohlräumen des Gesteins sammelte und gehen bisweilen in direkte Quarzgänge über.

Das Gefüge der Granite ist körnig, trotzdem der Glimmer zumeist in Form von Blättchen auftritt. Bei den Kugelgraniten beobachtet man runde Anhäufungen dunkler oder heller Gemengteile, die zuerst sich aus dem Magma abschieden und dann verbunden wurden. Die Gneisgranite zeigen noch die Fließbewegung des Magmas in der Anordnung der Gemengteile.

So widerstandsfähig auch frische Granite erscheinen mögen, sie fallen allmählich der Verwitterung anheim. Grobkörnige Granite lösen sich schließlich zu Grus und Sand auf, und liefern wegen ihres Alkaligehaltes einen sehr fruchtbaren Boden. Die Verwitterung des Granits wird durch die bankförmige Absonderung und durch schräge Klüfte gefördert. Sämtliche Granitgebiete der Erde zeigen typische Oberflächen- und Verwitterungsformen. Sanftgerundete Höhen und Kuppen, wie sie für das Fichtelgebirge und den Brocken typisch sind, weisen

auf Granit hin. Im einzelnen zeigen die Granite mannigfaltige Erscheinungen. Wird der die einzelnen Granitmassen verbindende Grus durch die Verwitterung hinweggeführt, dann bleiben bizarre Felsformen übrig, die wie von Zyklopenhänden aufeinandergetürmt erscheinen. Die einzelnen Granitblöcke sind entweder plattenförmig oder „wollsackförmig". Beispiele für diese Absonderung bieten die verschiedenen Klippen im Brockengebiet oder die Bastionen der vielbesuchten Luisenburg im Fichtelgebirge (Abb. 121). Stundenlang kann man hier in einem wahren Felslabyrinth umherklettern, denn bei fortschreitender Verwitterung stürzen auch die haushohen Wollsackfelsen zusammen und bilden weitläufige Block- oder Felsenmeere. Bisweilen kommt es vor, daß ein rundlicher Granitblock auf einen anderen ebenfalls kugeligen zu liegen kommt, so daß er sich im labilen Gleichgewicht befindet. Auf diese Weise entstehen die Wackelsteine, welche in leichtes Schwanken versetzt werden können, aber nicht von ihrer Unterlage herabstürzen (Abb. 122). Die kugelschalige Absonderung tritt bisweilen auch in riesigen Dimensionen auf, sie wird beispielsweise auf der Abbildung des Granitbruches deutlich erkennbar, die zugleich auch die weitgehende Zerklüftung des Gesteins unterhalb der Erdoberfläche veranschaulicht (Abb. 119).



Phot. Dr. C. W. Schmidt.

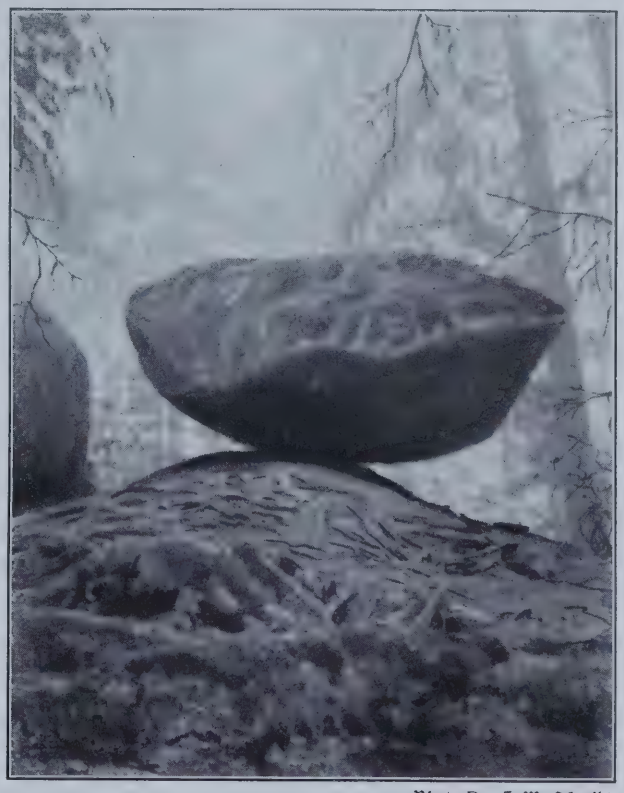
Abb. 121. Granitwollsäcke auf der Luisenburg im Fichtelgebirge. Wie von Zyklopenhänden sind die Granitblöcke aufeinandergetürmt.

Granite kommen einerseits als mächtige unterirdische Massen (sog. Lakkolithe oder Zisternensteine) vor, anderseits als Gänge. Die deutschen Mittelgebirge sind sehr reich an Graniten, die hier in gewaltigen Brüchen gewonnen werden. Nordische Granitblöcke wurden zur Eiszeit in die deutsche Tiefebene verfrachtet und bilden die Hauptmasse der sogenannten Findlinge oder erratischen Blöcke. Granit wird in rauhem oder poliertem Zustand als Baustein verwendet. Besonders begehrt sind rote Granite, so der finnische (in Deutschland als Findling häufige) Rapakiwi, dessen 5—8 cm große rote Orthoklaskristalle von grünlichem Plagioklas eingerahmt sind.

Ein weitverbreiteter Irrtum hält Granite für besonders alte Gesteine. In Wirklichkeit gibt es außer den archäischen paläozoische und noch jüngere Granite. Der 7000 m hohe Huascaran in Nordperu besteht sogar aus tertiärem Granit.

Durch Schleifen und Polieren erhalten manche Granite ein sehr schönes Aussehen und werden dann für Denkmäler oder zur Bekleidung von Innenräumen verwendet. Größere Werkstücke dienen zur Herstellung von Treppenstufen, Bordschwellen und Straßenplatten, Abfälle werden zu Straßenschotter zerschlagen.

Familie der Syenite. Syenit entlehnt seinen Namen von der ägyptischen Stadt Syene, dem heutigen Assuan, doch ist das dort gewonnene Nutzgestein kein Syenit, sondern ein Granit. Syenite sind weniger häufig als Granite, mit denen sie durch Übergänge verbunden sind. Bekannte Fundorte liegen im Plauenschen Grunde bei Meißen, im Odenwald, bei Predazzo in Tirol und nördlich von Oslo. Das Gestein wird wie Granit abgebaut und verwendet.



Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 122. Der „Napoleonshut" auf der Luisenburg im Fichtelgebirge, ein typischer Wackelstein aus Granit.

Der Hauptbestandteil des Syenits ist roter oder weißer Orthoklas, der mit Kalknatronfeldspat, Hornblende, Augit und dunklem Glimmer verbunden ist. Danach unterscheidet man Biotit-, Hornblende- und Augitsyenite. Das Gefüge des Syenits ist granitähnlich, so daß Syenite als kieselsäureärmere Erstarrungsformen granitartiger Magmen gelten dürfen. Sie sind dementsprechend zumeist auch dunkler als die Granite gefärbt.

Familie der Diorite. Diorite bestehen vorherrschend aus Plagioklas und Hornblende, wozu sich Glimmer, Augit, Orthoklas und Quarz gesellen. Im einzelnen ist die Zusammensetzung der Diorite sehr mannigfaltig, Übergänge verbinden sie mit den Graniten einerseits, mit den Gabbros anderseits.

Das Gefüge der Diorite ist granitartig, Verwitterungserscheinungen und geologisches Auftreten ähneln ebenfalls dem Granit. In Deutschland werden Diorite im Schwarzwald, Odenwald, in Thüringen und am Kyffhäuser abgebaut und wie Granit verwendet.

Phot. R. Potonié.

Abb. 123. Kontaktzone des Ramberggranits am linken Bodeufer bei Thale a. H. Die Sedimente sind durch Kontaktmetamorphose in Hornfels umgewandelt, der sich deutlich vom Granit durch flachere Böschung und Pflanzenbedeckung abhebt.

Familie der Gabbros. Die Gabbros bestehen in der Hauptsache aus Kalknatronfeldspaten und Diallag. Dazu treten Hornblende, Biotit, Olivin, selten Quarz. In mikroskopischer Verteilung finden sich noch Eisenerz und Apatit darin. Auch die Gabbrofamilie weist sehr viele Mitglieder auf; sie zeigen sämtlich körniges Gefüge, doch kommen auch schieferige Formen vor. In der Natur treten die Gabbros als Stöcke, Gänge und Ergüsse auf; sie bildeten sich zu verschiedenen Zeiten der Erdgeschichte. Paläozoisch sind die Gabbros im Radautal bei Bad Harzburg, die Gabbros im südlichen Schwarzwald, im Odenwald, im Granulitgebirge und in Schlesien (bei Volpersdorf). Tertiäre Gabbros sind in Italien und in den Alpen häufig. Die technische Gewinnung wird durch eine quaderförmige Absonderung erleichtert; solche „Würfel" werden wie Granit zu Bauzwecken verwendet, während die Hauptmasse des Gesteins ein vorzügliches Pflastermaterial ergibt.

Kontaktmetamorphose. Bei dem Emporddringen des Magmas wurde, wie schon erwähnt, das Nebengestein infolge der starken Erhitzung durch heiße Dämpfe und Lösungen in Mitleidenschaft gezogen, zugleich wandelte sich aber auch das Eruptivgestein in den Außenzonen selbst um.

Den ganzen Bezirk der umgewandelten Nebengesteine nennt man einen Kontakthof. Je näher man in seinem Bereich dem Eruptivgestein kommt, um so stärker werden die Umwandlungserscheinungen sein, die natürlich nur dann zu beobachten sind, wenn die früher darüber gelagerten Deckschichten durch spätere geologische Ereignisse wieder abgetragen worden sind, so daß das plutonitische

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 124. Deutlich geschichtete Bimssteinablagerungen mit Bomben in einem Steinbruch bei Nieder-Mendig in der Eifel.

Gestein und seine Umgebung frei zutage liegen. Die Umwandlungen hängen nur von der Art des Nebengesteins ab; sie entsprechen sich also bei den verschiedenen Eruptivgesteinen. Besonders stark sind die Umwandlungen dann, wenn das Magma in kleinen Mengen in zertrümmertes Nebengestein eindringt; es entstehen dann sogenannte Mischgesteine.

Tritt ein plutonitisches Magma mit Tonschiefer in Kontakt, so entstehen in der äußeren Zone sogenannte Knotentonschiefer, die sich vom normalen Gestein durch zahlreiche dunkle Flecken unterscheiden. Nach der Form dieser Knoten nennt man diese Gesteine auch Fleck-, Frucht- oder Garbenschiefer. Nähern wir uns mehr dem Eruptivgestein, so gelangen wir in die Zone der Knotenglimmerschiefer, die nun schon ein deutliches kristallines Gefüge erkennen lassen, aus dem zahlreiche Glimmerblättchen hervorscheinen. Und noch näher der Eruptivmasse ist der schieferige Charakter des Nebengesteins ganz verschwunden; an seiner Stelle lagert dem Plutonit (in unserem Falle dem Granit) harter und splitteriger Hornfels an, in dem sich durch Wirkung der Kontaktmetamorphose auch zahlreiche neue Gemengteile (Andalusit, Granat) eingestellt haben (Abb. 123). Der Hornfels dient als Straßenschotter, wozu der ursprüngliche Tonschiefer nicht geeignet ist.

Sandsteine erhalten im Kontakt ebenfalls fleckiges Aussehen und eine sehr große Härte. Kalkstein wird umkristallisiert und bisweilen in Marmor verwandelt.

Roteisenstein (Fe_2O_3), Brauneisenstein ($2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$), bisweilen auch Eisenkies (FeS) werden im Kontakt zu Magneteisen metamorphosiert (Altenau im Harz, Schmiedefeld im Thüringer Wald).

Abb. 125. Die Quarzporphyrschlucht des Eggentals bei Bozen mit nahezu senkrechten Wänden.

Eine wichtige innere Kontakterscheinung ist die Ausbildung porphyrischer und dichter Struktur der Granite (sog. Randfazies), zu der häufig noch besondere Mineralbildungen treten. In den Gängen läßt sich die Umwandlung des Granits sehr gut beobachten, besonders schön im sogenannten Bodegang des Ramberggranits im Harz, der durch das Bodetal zwischen Thale und Treseburg siebenmal angeschnitten wird. Auch das Auftreten heißer Dämpfe, welche einzelne Mineralien auflösten (sog. Pneumatolyse) und andere, wie Topas, Turmalin, Flußspat, Zinnstein, sulfidische Erze, abschieden, ist eine Kontaktwirkung, die von praktischer Bedeutung ist, da die genannten Mineralien häufig in diesen Zonen gewonnen werden.

Die **Vulkanite** entstammen denselben Magmen, die im Innern der Erde die Plutonite ergeben. Es gehört also zu jedem Magma eine plutonitische und eine vulkanitische Ausbildung, so daß man eine vergleichende Liste aufstellen kann, in der die den einzelnen Plutoniten entsprechenden Vulkanite dann noch in zwei Gruppen gemäß ihres verschiedenen geologischen Alters geschieden werden.

Plutonite	Entsprechende Vulkanite	
	junger Formationen	alter Formationen
Granite	Liparite	Quarzporphyre
Syenite	Trachyte	Quarzfreie Porphyre
Diorite	Andesite	Porphyrite
Gabbros	Feldspatbasalte	Diabase, Melaphyre

Abb. 126. Ein durch die Kräfte der Verwitterung bloßgelegter Gang in Colorado, Nordamerika. Das harte Gestein ragt wie eine Mauer über der Oberfläche des weicheren Nebengesteins hervor.

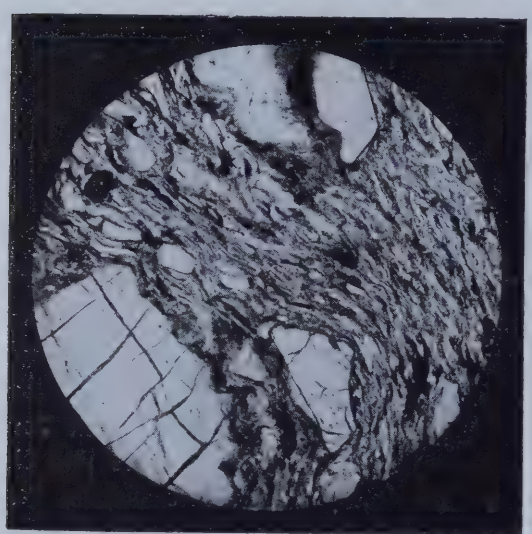
Familie der Liparite und Quarzporphyre. Die Liparite (nach ihrem Vorkommen auf den Liparischen Inseln genannt) und die Quarzporphyre sind die den Graniten entsprechenden Vulkanite. Sie bestehen aus einer dichten, hell gefärbten Grundmasse, in der Kristalle von Feldspat, und zwar von Sanidin bei Liparit, von Orthoklas bei Quarzporphyr, und weiterhin Kristalle von Quarz erkennbar sind. Die Nebengemengteile entsprechen denen der Granite. Häufig ist die Grundmasse kristallinisch („felsitisch") oder glasig ausgebildet. Bei der letzteren Texturform unterscheidet man die Ausbildung in wasserreiche Pechsteine, in wasserarme Obsidiane und in schaumige Bimssteine. Diese drei Formen treten bei anderen Ergußgesteinen ebenfalls auf, und ebenso haben wir bei allen Vulkaniten Bomben, Aschen und Tuffe zu unterscheiden, wie sie sich ja auch heutzutage bei Vulkanen bilden.

Die tertiären Liparite treten außer auf den Liparischen Inseln in den Euganeen auf, in jenem vulkanischen Gebirge, an dessen Abhang man bei Padua auf der vielbereisten Strecke Gardasee—Venedig vorbeikommt, ferner in Ungarn und in Siebenbürgen.

Viel verbreiteter sind die Quarzporphyre, die zumeist im Karbon und im Rotliegenden entstanden. Schwarzwald, Vogesen, Odenwald bestehen zum Teil aus diesen Gesteinen. Die hohen Erhebungen des Thüringerwaldes setzen sich aus Quarzporphyr zusammen, der sich deckenförmig über die Schichtgesteine ausbreitete; als Beispiele seien Inselberg, Beerberg, die Höhen von Oberhof, der Kickelhahn genannt. Auf einer Rennstiegwanderung kann man die verschiedensten

Varietäten sammeln, darunter (bei der Schmücke) auch schöne Stücke mit Fluidalstruktur (Abb. 127). Am Schneekopf findet man auch sogenannte Mandeln im Quarzporphyr, Blasenräume, die mit Quarzkristallen ausgefüllt sind.

Im Südharz und im Erzgebirge treten ebenfalls Quarzporphyre auf; das ausgedehnteste Vorkommen ist dagegen die 1000 m dicke Decke von Quarzporphyr, die sich von Bozen bis Trient erstreckt und aus der die rebenreichen Berge Südtirols bestehen. Besonders schön sind die Quarzporphyre im Eggental aufgeschlossen, das vom Bozener Boden in die Dolomiten führt. Die Quarzporphyre, die zumeist sonst massig erscheinen, zeigen hier plattenförmige Absonderung (Abb. 125). Quarzporphyr wird wegen seiner 2000—3000 kg/qcm betragenden Druckfestigkeit zu Pflastersteinen oder Steinschlag verwendet; Bimsstein dient als Polliermittel, in gewissen Gegenden auch als leichter Baustoff.



Phot. Bruhns.

Abb. 127. Fluidalstruktur: schlierige Glasmasse in einem Pechsteinporphyr.

Familie der Trachyte und quarzfreien Porphyre. Die Trachyte, deren griechischer Name auf ihre rauhe Oberfläche hinweist, entsprechen den Syeniten. Sie sind kristallin und hell gefärbt, bisweilen auch glasig entwickelt.

Trachyte finden sich im Siebengebirge, wo sie Gänge bilden, in den Euganeen, in der Auvergne (Puy de Dôme), in Ungarn; sie werden als Bau- und Pflastersteine verwendet, sind aber weniger fest und widerstandsfähig als andere Eruptiva. Tuff des Trachyts, sogenannter Traß, kommt im Brohltal in der Eifel vor und wird, mit Kalkbrei angerührt, zu luftdurchlässigen, leichten Schwemmsteinen verarbeitet.

Quarzfreie Porphyre bilden als Orthophyre Decken im Saar-Nahegebiet und im Thüringer Wald und treten als Keratophyre im Harz auf.

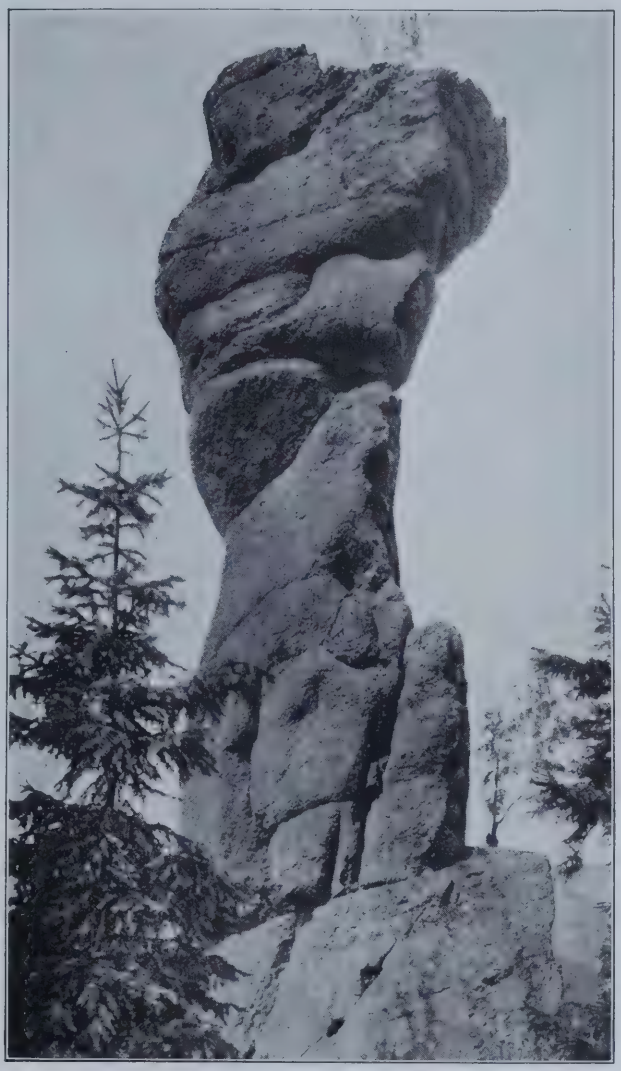
Familie der Phonolithe. Die Phonolithe oder Klingsteine (so genannt, weil sie beim Zerschlagenwerden einen klingenden Laut von sich geben) entsprechen ebenfalls bestimmten Plutoniten, die nur wegen ihrer geringeren Bedeutung nicht namhaft gemacht worden sind. Das Gefüge der Phonolithe ist zumeist porphyrisch, die Absonderung plattenförmig oder prismatisch.

Das Gestein bildet Decken, Ströme, Gänge oder Kuppen. Von den letzteren sind besonders bekannt die Kuppen des von Scheffel besungenen Hohentwiels, des Hohenkrähens im Hegau und der Heldburg in Thüringen. Phonolithe werden im Kaiserstuhl, in Böhmen, in Frankreich vielfach gebrochen und als Platten verwendet. Ihre Tuffe finden sich im Hegau und in der Eifel.

Familie der Andesite und Porphyrite. Andesite treten in Mittel- und Südamerika, auf den westindischen Inseln und in Nordamerika in großer Ausdehnung auf, Porphyrite kommen in Deutschland vor, und zwar im Südharz (bei Ilfeld, Abb. 128), im Thüringer Wald (Suhl–Schmalkalden), in Sachsen (Meißen–Döbeln) und im Saar-Nahegebiet.

In einer porösen, hellgrauen oder rötlichen Grundmasse finden sich Einsprenglinge von Feldspaten, Hornblenden und Pyroxenen.

Beide Gesteinsgruppen, die als vulkanitische Glieder des Trachyts zu gelten haben, werden als Bau- und Pflastermaterial verwendet. Besonders schöne Varietäten sind der rotgefärbte Porfido rosso antico, der rote Porphyr der Alten, aus Ägypten, und der Porfido verde antico, der grüne Porphyr der Antike, aus dem Peloponnes.



Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 128. Ein bizarr geformter Porphyritfels im Südharz. Der „Gänseschnabel" bei Ilfeld.

Familie der Basalte, Melaphyre, Diabase. Die Gesteine dieser Gruppe bilden in Vorderindien, in Patagonien und auf Island große Decken, sind aber auch in Deutschland häufig.

Basalte sind dunkelgraue bis schwarze Gesteine, die aus Natronkalkfeldspat und Augit bestehen und sehr häufig Olivin führen. Daneben treten noch zahlreiche andere Mineralien, auch Erze, als Gemengteile auf (Eisenbasalt von Ovifak in Grönland), so daß sich sehr viel Varietäten unterscheiden lassen.

Basalte sind in Deutschland sehr häufig. Das größte Basaltgebiet ist der Vogelsberg (2500 qkm), weitere Vorkommen liegen in der Rhön, am Meißner, Habichtswald, Knüll, in Thüringen und in der Lausitz. Der Basalt zeigt häufig säulenförmige Absonderung; diese ist besonders schön ausgebildet an der berühmten

Technophot. Archiv, Berlin.

Abb. 129. Basaltbruch. Der Basalt ist in Säulen abgesondert, die oben noch anstehend zu sehen sind und die ohne Bearbeitung verwendet werden können.

Fingalshöhle auf der Insel Staffa und am Riesendamm in Schottland, doch läßt sie sich auch am Meißner oder in der Rhön sehr schön beobachten (Abb. 129). Diese säulenförmige Absonderung erleichtert die Gewinnung des Gesteins und gestattet seine Verwendung ohne besondere Bearbeitung zu Prellsteinen und zum Dammbau. Wegen seiner großen Druckfestigkeit (1100—3500 kg/qcm) ist Basalt ein hochgeschätzter Nutzstein. Durch Verwitterung entsteht aus Basalt Beauxit, aus dem Aluminium gewonnen wird.

Interessant sind die Kontaktwirkungen des Basaltes auf das Nebengestein. Sandsteine und Tone werden geschmolzen und verhärtet, Braunkohle zeigt am Meißner prismatische Absonderung und bis auf 6 m Tiefe starke Verhärtung.

Diabas. Die bezeichnenden Gemengteile dieses zumeist körnigen bis dichten, basaltähnlichen Gesteins sind Natronkalkfeldspat und Augit; dazu treten zahlreiche andere Mineralien, vor allem Chlorit, der auch die grünliche Färbung der Diabase bedingt. Bei der Verwitterung zerfallen die Diabase allmählich in Lehm.

Die deutschen Diabase bilden Gänge oder Ergüsse, sie finden sich in fast allen Mittelgebirgen und werden vornehmlich als Schotter verwendet.

Melaphyr. Die Melaphyre sind aus Plagioklas und Augit zusammengesetzte schwarze Gesteine, die bei der Verwitterung eine braune oder grünliche Färbung annehmen. Sie treten wie Basalte auf und finden sich in Sachsen (Zwickau), im Südharz und Thüringer Wald. Verbreiteter sind Melaphyre indessen in Nordamerika.

b) Sedimentgesteine.

Die Sediment- oder Absatzgesteine sind durch Ablagerung aus dem Wasser oder aus der Luft entstanden. Dementsprechend unterscheidet man neptunische und äolische Sedimente. Mineralogisch trennt man sie auch in Trümmersedimente, die ihre Bildung Bruchstücken anderer Gesteine verdanken (Abb. 130), und Ausscheidungssedimente, die durch Abscheidung oder als Niederschlag aus Lösungen entstanden sind. Eine besondere Stellung nehmen außerdem die durch Pflanzen (phytogene) sowie die durch Tiere (zoogene) entstandenen organischen Absatzgesteine ein.

Phot. Bruhns.

Abb. 130. Dünnschliff eines Trümmergesteins (Grauwacke aus dem Harz). Die einzelnen Gemengteile sind unregelmäßig geformt und durch ein feinkörniges Bindemittel verfestigt.

Lose Trümmergesteine. Zu diesen gehören zunächst einmal die Flußsedimente, von denen wir nach der Größe Gerölle, Kies, Grand, Sand und Schluff unterscheiden. Über haselnußgroße Stücke bezeichnet man als Gerölle und Kies, kleinere als Grand oder Grus. Der Sand zeigt noch winzigere Körnchen und der staubfreie Rest wird als Schluff bezeichnet. Im Lauf eines Flusses kann man die einzelnen Größen, die ja nur Stadien eines fortschreitenden Zerstörungsprozesses sind, sehr deutlich verfolgen. Mit der mechanischen Zertrümmerung der Gesteine geht Hand in Hand auch eine chemische Veränderung. Die leicht löslichen Mineralien verschwinden zuerst, und schließlich bleibt nur das mechanisch und chemisch widerstandsfähigste Mineral, der Quarz, erhalten, der natürlich bisweilen noch von anderen Mineralien begleitet sein kann. Reine Quarzsande sind technisch sehr wertvoll, da sie die Grundlage für die Glasfabrikation bilden. Sind nutzbare Mineralien im Sande angereichert, so spricht man von Seifen (vgl. S. 119). Die Sichtung der Mineralien geschieht durch das fließende Wasser der Bäche, aber auch die Wogen des Meeres oder der Wind können eine überraschend genaue Sortierung bedingen.

Besondere Ausbildungsformen der Sande sind der durch die Tätigkeit eiszeitlicher Gletscher entstandene Geschiebemergel und die sowohl an der Küste wie im Binnenland vorkommenden Dünen. Hierüber wird später gesprochen werden.

Die losen Trümmergesteine werden sämtlich in der Bautechnik verwendet, sei es als Schotter, als Material zur Betonbereitung oder zur Herstellung von Kalksandsteinen. Die großen Blöcke aus dem Geschiebelehm werden in Norddeutschland, das arm an festem, gewachsenem Fels ist, als Bau- und Schotterstoffe benutzt.

Für die Landwirtschaft bedeutet sandiger Boden zumeist geringe Ergiebigkeit. Das Regenwasser versickert sehr leicht in ihm, und die Pflanzen finden in dem trockenen Boden kaum mehr als kümmerlichste Nahrung. So stellen sandige Strecken

häufig Ödland dar oder sie sind mit der anspruchslosen Kiefer besiedelt, die dem Untergrund im Laufe langer Zeiten dann etwas Humus zufügt, so daß später auch andere Gewächse gedeihen können.

Der lockere Untergrund erschwert auch jede Bautätigkeit. Einschnitte müssen sehr breit gehalten werden, da wegen der ständigen Gefahr des Nachrutschens ein Böschungswinkel von 45° kaum überschritten werden darf. Besonders ungünstig werden die Verhältnisse, wenn unter der Sandschicht wasserundurchlässiger Ton lagert; der Sand ist dann bisweilen so stark mit Grundwasser durchtränkt, daß der Boden zu schwimmen scheint. Solche unerwarteten Schwimmsande müssen durch Zement verfestigt werden; ihre Bewältigung erfordert mitunter hohe und unvorhergesehene Kosten.

Tongesteine. Der hauptsächliche Bestandteil der Tongesteine ist amorphes, wasserhaltiges Tonerdesilikat, zu dem noch mancherlei andere Mineralien, wie Feldspat, Quarz, Glimmer usw. hinzutreten. Geringe Beimengungen bedingen typische Färbungen: so wird Ton durch Eisenoxyd rot, durch Eisenhydroxyd braun oder gelb, durch organische Substanzen grau bis schwarz gefärbt. Neben diesen mikroskopisch feinen kommen auch gröbere Beimengungen vor: Kalk bildet Nester oder hohle Knollen (sog. Septarien), Phosphorit verschieden gestaltete Konkretionen, Gips deutliche, oft wohlausgebildete Kristalle. Je feinkörniger die fremden Mineralien sind, um so fetter fühlt sich der Ton an.

Der reine weiße Ton wird Kaolin genannt (vgl. S. 147); eisenschüssiger, etwas kalkhaltiger Ton heißt Bolus. Manche Tone, wie die Walkerde, saugen Fette auf und werden deshalb zum Entfetten von Wolle verwendet.

Auch die feinsten Sedimente, die sich in Buchten und in allen tieferen Teilen der Ozeane absetzen, bestehen vorwiegend aus Ton; der rote Tiefseeton ist deshalb das verbreitetste Absatzgestein.

Ton saugt sich bis zu 70% mit Wasser voll, läßt es aber nicht durchsickern, so daß Tonlagen stets wasserhaltige Schichten darstellen und darunterliegende wasserlösliche Gesteine, wie Steinsalz- oder Kalisalzlager, vor der Auflösung bewahren. Solange der Ton auf wagerechter Grundlage ruht, gestattet er die Anlage von Tiefbauten, schräge Tonlagen kommen dagegen, besonders wenn sie mit Wasser gesättigt sind, leicht ins Rutschen.

Zwei Eigenschaften machen den Ton technisch wertvoll. Einmal seine Plastizität, die ihn zu einem wichtigen Material für den bildenden Künstler stempelt, ein anderes Mal seine Feuerfestigkeit nach dem Brennen. Ton wird nach dem Erhitzen, also nach der Entfernung des Wassers, hart und gegen hohe Temperaturen widerstandsfähig; er kann also als Material für feuerfeste Gefäße und Steine verwendet werden. Allerdings eignet sich hierfür nur der magere — durch Quarzsand verunreinigte oder durch künstliche Beimengungen „gemagerte" Ton, da der reinere, fette Ton in der Hitze an Volumen einbüßt.

Tongesteine bilden infolge ihres Gehaltes an nährstoffreichen Mineralien einen fruchtbaren Boden, der indessen auch wegen seines hohen Wassergehaltes zur Sumpfbildung Anlaß geben kann. Reiner Ton beschränkt auch die genügende Durchlüftung des Bodens; beim Austrocknen bildet er häufig Risse und Spalten, die dem Pflanzenwuchs schädlich sind (Abb. 131).

Abb. 131. Die Wirkung der Sonnenbestrahlung. Der Lehmboden eines ausgetrockneten Tümpels ist in zahllose Stücke gespalten. Ähnliche „Trockenrisse" finden sich vielfach in Schichten und geben wichtige Anhaltspunkte über das Klima der betreffenden Formation.

Außer den bisher genannten gibt es nun noch eine Reihe mehr oder weniger verunreinigter Varietäten des Tones, die in erster Linie den Ackerboden bilden. Ist der Ton mit geringen Mengen von Sand vermischt, so spricht man von Letten, enthält er mehr Sand und dazu noch Kalk nebst anderen Mineralien, so spricht man von Lehm. Auch Lehm kann zur Herstellung von Ziegeln verwendet werden, doch sind seine Feuerfestigkeit und Plastizität weit geringer als beim eigentlichen Ton. Um so wertvoller ist er als Boden, da er zwischen dem wasserdurchlässigen Sand und dem zu stark wasserspeichernden Ton die Mitte hält und auch der eindringenden Luft keinen Widerstand entgegensetzt. Tritt der Ton noch mehr zurück, so entsteht der Löß, der also in erster Linie sehr feiner, durch Ton zusammengehaltener Quarzsand ist, häufig aber auch Kalk beigemengt enthält. Durch Sickerwässer wird der Kalk in den oberen Schichten ausgelaugt und weiter unten in Form seltsamer Konkretionen wieder abgesetzt, die man als Lößpuppen oder Lößkindel bezeichnet. Wegen dieses Kalkgehaltes ist der Löß auch wasserdurchlässig, er zeigt aber, wie Ton, einen engen Zusammenhalt, so daß tiefe, steilwandige Schluchten entstehen können (Abb. 132).

Geeigneter noch als der auch an den Abhängen der deutschen Mittelgebirge auftretende Löß ist für die Landwirtschaft die Schwarzerde (Tschernosem) Rußlands, deren deutsches Analogon der fruchtbare Rübenboden der Magdeburger Börde ist. In den Tropen heißt der tonige Verwitterungsboden Laterit; seine Rotfärbung geht auf Eisenoxyd zurück, das in niederschlagsreichen Gebieten stets zu Eisenhydroxyd umgewandelt wird, so daß hier braune Verwitterungsprodukte

Phot. H. Potonié.

Abb. 132. Lößwand bei Gerlebogk. Der Löß bildet steile Wände.

entstehen. Im Karstgebiet findet sich in den Dolinen als eine entsprechende rote Bildung die Terra rossa.

Sind die Tone noch stärker verunreinigt als beim Lehm, so nennt man sie Mergel. Diese gehen dann allmählich in Kalkstein über, so daß man eine fortlaufende Reihe: Kaolin—Ton—Lehm—Mergel—Kalkmergel—Kalk erhält.

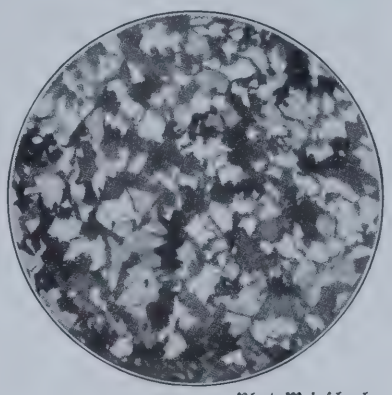
Feste Trümmersedimente. Wenn bei der Ablagerung von Sanden sich gleichzeitig auch feiner Ton absetzt, so verkittet dieser die einzelnen Sandkörner miteinander. Dasselbe geschieht, wenn in eine lockere Ablagerung späterhin ein bindendes Mineral eindringt oder wenn dieses durch die Verwitterung des Sediments selbst entsteht.

Je nach der Beschaffenheit des zementierenden Minerals ist der Festigkeitsgrad der Trümmersedimente verschieden; daneben hat natürlich auch der Druck der darauf lastenden Schichten eine große Bedeutung.

Nach der Ausbildungsform der Trümmer unterscheidet man Breccien, Konglomerate und Sandsteine.

Breccien (ital. breccia, Geröll) sind feste Trümmersedimente, deren Bruchstücke eckig sind. Dies spricht dafür, daß die Trümmer vor der Verkittung nicht durch Wasser transportiert wurden, was ja eine Rundung der Kanten bedingt hätte. Manche Breccien setzen sich aus organischen Resten zusammen, die durch ein kalkiges oder toniges Bindemittel verkittet wurden, so die überwiegend aus Knochentrümmern bestehenden Bonebeds. Künstliche Breccien sind Beton und Terazzofußboden.

Bei den **Konglomeraten** weisen die Trümmer infolge eines längeren Wassertransportes vor der Verfestigung abgerundete Kanten auf. Konglomerate sind weit verbreitet und wegen ihrer Festigkeit als Schotter wohl verwendbar. Sie finden sich in allen geologischen Formationen; besonders mächtig sind sie in der Schweiz und im nördlichen Algäu als sogenannte Nagelfluh verbreitet. Auch die Grauwacken kann man dazu rechnen, nur sind ihre Quarzbruchstücke meist klein (vgl. Abb. 130).



Phot. Weinschenk.

Abb. 133. Dünnschliff eines Sandsteins als Beispiel eines festen Trümmergesteins.

Sandsteine setzen sich aus Quarzkörnern und einem Füllmittel zusammen. Nach den begleitenden Mineralien unterscheidet man Glimmersandstein, Feldspatsandstein, nach der Art des Bindemittels Ton-, Kalk-, Mergel-, Kieselsandsteine. Die letzteren gehen mit Überwiegen des Quarzes allmählich in sog. Quarzite über. Von dem Bindemittel hängen auch im wesentlichen Festigkeit und Färbung des Sandsteines ab; die Druckfestigkeit schwankt zwischen 150 und 1800 kg/qcm. Die Beimischung gewisser Mineralien, die sich an der Luft zersetzen, verhindert die technische Verwendung vieler Sandsteine, während das Auftreten von Erzen (Blei- und Kupfererze) manche Sandsteine zu wertvollen Lagerstätten stempelt (Abb. 133).

Sandsteine kommen in allen Formationen vor und werden in zahlreichen Steinbrüchen gewonnen. Besonders erleichtert wird der Abbau, wenn zu der horizontalen Schichtung noch eine vertikale Zerklüftung tritt, da auf diese Weise Quadern entstehen, die leicht aus dem Verband des Gesteins gelöst werden können. Bekannt

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 134. Steinbruch im Vogesensandstein. Im Vordergrund unverwendbarer Abraum.

Technophot. Archiv, Berlin.

Abb. 135. Die gewaltigen Schieferbrüche von Lehesten im Frankenwald, in denen Dachschiefer gewonnen wird.

sind die Quadersandsteine der Sächsischen Schweiz, deren Verwitterung die typischen Formen dieser Landschaft bedingt.

Feste, gegen Witterungseinflüsse widerstandsfähige Sandsteine liefern ein vorzügliches Baumaterial, das sich leicht bearbeiten läßt. Farbenschöne Varietäten werden gern zu Bildhauerarbeiten verwendet, harte, mit kieseligem Bindemittel, zu Mühl- und Schleifsteinen, da sie stets eine rauhe Oberfläche behalten. Künstliche Sandsteine werden durch Vermengen von gelöschtem Kalk mit Sand und Pressen des Gemenges unter Überdruck hergestellt.

Wenn Sandsteine zerfallen, so ergeben sie Böden, die nach der Art und der Menge des Bindemittels sehr verschiedenwertig sind.

Tonschiefer ist ein festes Tongestein, das zumeist eine deutliche Spaltbarkeit aufweist. Diese ist besonders deutlich beim Dachschiefer entwickelt und eine Folge von Druckwirkung. Aus diesem Grunde finden sich Dachschiefer nur in aufgerichteten und gepreßten Gebirgen, etwa am Nordrand des Harzes, wo die Dachschiefer seit 1000 Jahren abgebaut werden, in den berühmten großen Brüchen von Lehesten im Frankenwald (Abb. 135), im Rheinischen Schiefergebirge und in Südengland. Ein brauchbarer Dachschiefer muß sich in dünne Tafeln spalten, in die gewünschte Form zerschneiden und durchbohren lassen, er muß ferner wasserundurchlässig, widerstandsfähig gegen die Einflüsse der Atmosphäre und gleichmäßig gefärbt sein.

Eine besonders interessante Varietät stellen die Griffelschiefer dar, die in zwei Ebenen eine vollkommene Spaltbarkeit aufweisen, so daß die Platten in einzelne

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 136. Salzausblühung in einem Tal des Tinschangebirges.

Stengel gespalten werden können, die nach Abrundung Griffel ergeben. Der hauptsächliche Bedarf für die A-B-C-Schützen der ganzen Welt wird aus den Griffelschieferbrüchen des Thüringer Waldes (bei Spechtsbrunn usw.) gedeckt. Die riesigen Halden der Dachschieferbrüche kann man während der Bahnfahrt durch das Saale- und Loquitztal zwischen Saalfeld und der Höhe des Thüringer Waldes sehr schön beobachten.

Ausscheidungssedimente. Im Gegensatz zu den Trümmersedimenten bilden sich die Ausscheidungssedimente durch Abscheidung fester Substanzen aus Lösungen. Naturgemäß ist eine scharfe Trennung zwischen beiden nicht durchzuführen, vielmehr finden sich in Trümmersedimenten als Bindemittel oftmals Ausscheidungen, und anderseits sind in den Ausscheidungssedimenten gar nicht selten Trümmer anderer Gesteine eingebettet.

Die wichtigsten Ausscheidungssedimente stellen die Salzlagerstätten dar, über deren Entstehung deshalb einige Worte gesagt sein mögen. Die früher allgemein herrschende, von Ochsenius im wesentlichen ausgearbeitete Theorie besagte, daß die Salzlager nichts anderes als Niederschläge abgeschnürter Meeresbuchten seien. Als Stütze für diese sog. Barrentheorie dienten die Verhältnisse an der Karabugasbucht des Kaspischen Meeres. Diese Bucht ist nur durch einen engen Kanal mit dem Kaspisee verbunden; das in ihr befindliche Wasser wird infolge des heißen Steppenklimas sehr stark eingedunstet, so daß vom Kaspisee ein stetiger Zustrom vonstatten geht, während in der Bucht selbst die konzentriertere Salzlösung ständig absinkt. Am Boden scheiden sich also Salze der verschiedensten Zusammensetzung und zwar in der Reihenfolge ihrer Löslichkeit ab, da das am schwersten lösliche Salz naturgemäß zuerst ausfällt. In der Karabugassee kommen nun die verhältnismäßig leicht löslichen Kalisalze nicht zur Abscheidung, da ständig neues Wasser nachflutet. Um den Absatz von Kalisalzen zu erklären, nahm Ochsenius an, daß bei der Bildung

dieser Salzlagerstätten eine Barre die Meeresbucht von dem eigentlichen damaligen Weltmeer getrennt habe, so daß auch die leicht löslichen Salze nacheinander bei fortschreitender Austrocknung der Meeresbucht zur Abscheidung kommen mußten.

Nach Walther ist die Bildung der großen Salzlagerstätten anders vor sich gegangen. An den Rändern eines großen, allmählich austrocknenden Binnenmeeres haben sich die Salze abgeschieden, wie es heute noch in abflußlosen Gebieten zu beobachten ist (Abb. 136). Diese Salze wurden durch in den Regenperioden schnell entstehende Bäche wieder dem Meere zugeführt, das allmählich kleiner und kleiner

Abb. 137. Jahresringe im Salzlager von Staßfurt. Die ursprünglich horizontalen Schichten sind durch die tertiäre Faltung schräg gestellt (n. Walther).

wurde und in einzelnen Buchten schließlich austrocknete. Bei Annahme solcher zuführenden Flüsse wird es verständlich, daß die einzelnen Salzlagerstätten nicht einheitlich aufgebaut sind und daß über einem Kalisalzlager noch einmal ein anderes mit Zwischenschaltung der schwer löslichen Gips- und Anhydritschichten liegen kann.

Da manche Kalisalze aber nur bei hoher Temperatur (über 70° C) entstanden sein können, wird man noch weiter zu der Annahme gedrängt, daß nach der primären Ablagerung der Salzlager sekundär chemische Umwandlungsprozesse vor sich gegangen sein müssen, die die erforderliche Temperaturerhöhung mit sich brachten. Man kann solche durch die Druckwirkung der später über die Salzlager abgesetzten Sedimentgesteine erklären.

Während die Salze sich ursprünglich wagerecht ablagerten, trat später häufig eine Lagerungsänderung (Dislokation) ein; durch gebirgsbildende Vorgänge wurden die Salzlager in Falten gelegt oder auch emporgehoben. Während nun Gesteinsschichten auf den Gebirgsdruck nur widerspenstig reagieren, geben die namentlich bei erhöhter Temperatur plastischen Salzmassen besonders leicht nach. Die Salz-

lager suchten dem Druck auszuweichen und stiegen empor, wenn über ihnen ein geringerer Widerstand zu überwinden war als seitlich und an ihrer Sohle. So entstanden Salzhorste, wie sie in der norddeutschen Tiefebene vielfach nachgewiesen sind, bisweilen auch gangartig durch wenig widerstandsfähiges Nebengestein sich erstreckende Salzsäulen, die gegebenenfalls sich sogar in Salzfächer gabeln konnten. Die Schichten des Steinsalzes und der Kalisalze sind natürlich gebogen und wirr ineinander gefaltet; wegen ihrer Plastizität sind sie indessen zumeist intakt geblieben, während Anhydrit und Salzton zerrissen und zerstückelt wurden (Abb. 137 und 138).

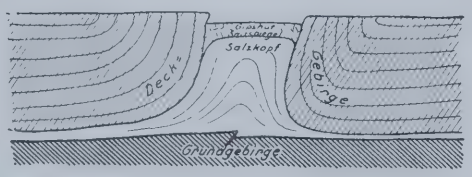


Abb. 138. Schema eines Salzhorstes.

Im Hinblick auf die nachträglichen Störungen muß man bei der Beurteilung der Mächtigkeiten vorsichtig sein. Bohrungen haben 1000, selbst 1500 m tief durch Salz geführt. Salzlager finden wir in allen geologischen Formationen, mit Ausnahme der ältesten; am wichtigsten sind in Deutschland die Vorkommen in der Zechstein-, in der Trias- und in der Tertiärformation. Von außerdeutschen Vorkommen seien noch die gewaltigen Salzlager des Salzkammergutes erwähnt; in ihnen sind Steinsalz und Salzton sehr stark zusammengeknetet, sie bilden ein besonderes Gestein, das als sog. Haselgebirge in die anderen Sedimente der Triasformation eingebettet ist.

Über die Gewinnung und Verwendung des Steinsalzes und der Kalisalze haben wir schon früher (S. 137 u. 139) gesprochen. Ebenso haben wir eine Reihe weiterer Abscheidungssedimente schon behandelt, die wie Anhydrit, Gips, Schwerspat, Kalkspat, Dolomit, Kieselgesteine und Erze einfache Gesteine, also Mineralien sind.

So bleibt uns nur noch übrig, auf die Bildung der Kohlengesteine näher einzugehen.

Die **Kohlengesteine** gehören zu den durch die Tätigkeit der Organismen entstandenen, als Biolithe bezeichneten Gesteinen, und zwar sind es ausschließlich Pflanzen, die die Kohlen gebildet haben.

Bekanntlich entnehmen die Pflanzen der Atmosphäre Kohlendioxyd (CO_2), das sie mit Hilfe ihres Chlorophylls und unter Verwendung der Sonnenenergie in organische Substanz umwandeln, assimilieren. Der in den Pflanzen vorhandene Kohlenstoff, jenes Element, an das alle organischen Stoffe gebunden sind, wird also aus dem gasförmigen Kohlendioxyd der Luft freigemacht; da nun die Kohlen aus Pflanzen entstanden sind, stellen sie gebundene Sonnenenergie dar; sie sind gleichsam der Akkumulator, in dem die Sonnenwärme früherer Erdperioden aufgespeichert worden ist.

Wie geht nun die Bildung der Kohlen vor sich? Wenn Pflanzen verwesen, so wandeln sie sich durch die Tätigkeit von Fäulnisbakterien in einfach zusammengesetzte chemische Körper, besonders in Kohlensäure und Wasser, um. Bei diesen Vorgängen, die, chemisch gesprochen, eine Oxydation bedeuten, da die Bakterien der Luft Sauerstoff entnehmen, wird kein Kohlenstoff gebildet. Anders ist es aber, wenn die Zersetzung bei mangelhaftem Luftzutritt vor sich geht: dann kann nur ein Teil des in den organischen Verbindungen der Pflanze gebundenen Kohlenstoffs zu Kohlen-

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 139. Verlandung und Faulschlammbildung am Rande des Schlachtensees bei Berlin.

dioxyd (und Wasser) oxydiert werden; der andere wandelt sich in das Gas Methan (CH_4) um, das als Sumpfgas in jedem Moraſt nachweisbar ist. Aus dem Methan scheidet sich am Boden der Gewässer mehr und mehr Kohlenstoff ab. Dieser Vorgang wird als Verkohlung bezeichnet; er beginnt mit der Umsetzung der Zellulose der Pflanzen in Torf und schließt mit der Bildung von Anthrazit ab. Vergleichen wir auf der nachstehenden Tabelle die chemische Zusammensetzung der verschiedenen Kohlen, so erkennen wir die schrittweise Zunahme von Kohlenstoff auf Kosten der beiden anderen Elemente Wasserstoff und Sauerstoff. Die in sämtlichen Kohlen vorhandene Aschensubstanz, deren Menge indessen sehr stark, nämlich zwischen 0,25 und 20% wechselt, ist hierbei nicht berücksichtigt worden.

	C	H	O
Holz	50	6	44%
Torf	55—60	6	39—34%
Braunkohle	66—70	5	29—25%
Steinkohle	80—90	4—6	14—6 %
Anthrazit	94—96	3	3—2 %
Graphit	100	—	—

Der Grad der Verkohlung hängt nun nicht allein vom Alter der Kohlen ab, sondern er kann auch durch Druck- oder Temperaturwirkung erhöht werden. Gute

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 140. Vermoorter See bei Schmolsin in Pommern.

Beispiele dafür liefern die Braunkohle am Meißner bei Kassel, die infolge des Basaltdurchbruches anthrazitähnliche Beschaffenheit angenommen hat, und die Anthrazite des stark gefalteten Pensylvanischen Kohlengebietes, deren ungestört liegende Nachbarlagen sehr sauerstoff- und wasserstoffreich sind. Einen augenscheinlichen Beweis für die Kohlenumwandlung bei hohem Druck erbrachte der Bau einer Eisenbahnbrücke bei Breisach in Baden. Hier wurden zahlreiche Fichtenstämme in den harten Untergrund des Rheinbettes eingerammt und dabei naturgemäß sehr stark gestaucht. Die spätere Untersuchung des Holzes ergab, daß nach etwa 2000 Rammstößen innerhalb von $1^1/_4$ Stunden der untere Teil der Stämme die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Braunkohle angenommen hatte, während der unterste, also am meisten gepreßte Teil der Stämme völlig zu Anthrazit umgewandelt worden war und keinerlei Holzstruktur mehr aufwies.

Die Umwandlung der Kohlen geht auch heute noch weiter: die dabei entstehenden Gase — es sind Wasserdampf, Kohlendioxyd, Kohlenoxyd, Methan und andere Kohlenwasserstoffe — lassen sich häufig in den Bergwerken nachweisen, die letzteren bilden die gefährlichen „schlagenden Wetter", gegen deren Explosion sich die Bergleute nur durch gesicherte Lampen (Davy'sche Sicherheitslampe) schützen können. Auf die Entstehung und Verbreitung der Kohlenlager wird noch verschiedentlich hinzuweisen sein; in diesem Zusammenhang seien kurz die wichtigsten Arten aufgezählt.

Am Boden stehender Gewässer bildet sich stets eine breiige, dunkle Masse, die als Faulschlamm oder Sapropel bezeichnet wird und zumeist als Faulschlammkalk mit dem Sediment des Bodens vermischt ist (Abb. 139).

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 141. Torfgräberei bei Ückermünde.
Im Hintergrund die zum Trocknen aufgestellten Torfsteine.

Der Torf bildet sich ebenfalls in der Jetztzeit, und zwar aus den in der gemäßigten Zone weit verbreiteten Moorpflanzen, vor allem aus dem Torfmoos Sphagnum. In den Flachmooren finden sich außerdem noch Heidekraut, Binsen, ferner Sträucher und vereinzelt Bäume (Abb. 140), während das Hochmoor fast ausschließlich aus Torfmoosen besteht. Diese Pflanzen haben infolge ihrer langen Wurzeln und Stengel eine stark saugende Kraft. Sie entnehmen dem Boden das Wasser und wachsen immer weiter empor, so daß sich solche Moore hoch über ihre Umgebung erheben können. Der Torf der Hochmoore ist besser, heizkräftiger als derjenige der Flachmoore; seine obersten Teile zeigen noch deutliche Pflanzenstruktur (heller Fasertorf), während die darunter liegenden älteren Partien schon ziemlich fest zusammengefügt sind (Pechtorf).

Torf dient als Brennmaterial, namentlich in jenen Landteilen, in denen er gewonnen wird; er kommt als Stichtorf oder Preßtorf in den Handel. Wegen seiner wassersaugenden Eigenschaft wird er auch als Streu benutzt (Abb. 141).

Torflager finden sich vielfach in den deutschen Ebenen, so in Hannover in 900 qkm Ausdehnung, in Oldenburg, Pommern und Bayern.

Die Braunkohlen sind tertiären Alters und aus verschiedenen Gewächsen hervorgegangen. Farne, Cycas-Arten, Palmen, Nadelhölzer und Laubbäume bildeten das Ausgangsmaterial für die Verkohlung, die sehr verschieden weit gediehen ist. Beim Lignit ist die ursprüngliche Holzstruktur noch deutlich zu erkennen, während sie bei der gewöhnlichen Braunkohle völlig verloren gegangen ist. Schwelkohle zeichnet sich durch hohen Gehalt an Gasen aus; sie wird deshalb auf Öl und Teer verarbeitet. Pechkohle ist so fest, daß sie an Heizkraft der Steinkohle nahe steht.

Technophot. Archiv, Berlin.

Abb. 142. Tagebau mittels Schurren im bayerischen Braunkohlenwerk Wackersdorf bei Schwandorf.

Die Braunkohlen finden sich in großen Lagern oder Flözen, die zumeist nur in geringer Tiefe unter dem Erdboden liegen, so daß sie im Tagebau abgebaut werden (Abb. 142). Entweder sind die Kohlen an Ort und Stelle gewachsen (autochthone Flöze), dann erkennt man häufig — wie in Senftenberg — noch aufrechtstehende Stämme in den Lagern (Abb. 143), oder sie sind an tieferen Stellen zusammengeschwemmt (allochthone Flöze). Mit großen Kratzern oder Baggern wird das Kohlengestein gefördert und entweder als Braunkohle weiter gesandt oder zu Briketts (Preßkohlen) verarbeitet.

Wichtige Braunkohlenreviere liegen in Sachsen, in Schlesien, in Hessen und im Rheinland. Vor dem Kriege wurden in Deutschland jährlich rund 90 Millionen Tonnen Braunkohlen gefördert; nach dem Verlust wichtiger Steinkohlenreviere hat die Braunkohle an Bedeutung noch erheblich gewonnen.

Die Steinkohlen sind aus den Pflanzen der Karbonzeit gebildet worden, und zwar aus Farnen, Bärlappen, Schachtelhalmen und Sigillarien, die in riesigen Exemplaren weite Wälder bildeten. Man unterscheidet Magerkohlen, die beim Erhitzen nur geringe Mengen Gas abgeben und mit kurzer Flamme ohne viel Ruß verbrennen, und Fett- oder Flammkohlen, die beim Verkoken schmelzen und viel Ruß abscheiden. Eine besonders harte, polierfähige Kohle ist der in Kleinasien gewonnene, vielfach zu Trauerschmuck verarbeitete Gagat oder Jet.

Die Steinkohlen sind nicht ausschließlich auf das Karbon beschränkt, sondern finden sich auch in jüngeren Formationen. Der Kreidezeit zum Beispiel gehören

Technophot. Archiv, Berlin.

Abb. 143. Stämme in ursprünglicher Lage in einer Braunkohlengrube der Ilse-Bergbau-A.-G.

Steinkohlen Nordamerikas und des Deistergebirges an, der Juraformation solche im Kaukasus und in China, dem Perm die riesigen Lager der chinesischen Provinz Schan-si sowie einige Vorkommen bei Saarbrücken und in Thüringen. Die Hauptmasse der europäischen Kohlen entstand indessen während der Karbonzeit, und auch hier haben wir eine deutliche Ablagerung in Flözen, die teils autochthon, teils allochthon entstanden sind. Die Mächtigkeit der einzelnen Flöze ist indessen weit geringer als bei den Braunkohlen, doch folgen häufig viele Flöze übereinander, so im Ruhrgebiet und in Oberschlesien bis 100 Stück. Zählt man die Mächtigkeiten der einzelnen, oft nur wenige Zentimeter messenden Flöze zusammen, so ergeben sich immerhin an günstigen Stellen Gesamtmaße von über 100 m.

Von den europäischen Ländern ist Deutschland das an Steinkohlen reichste, allerdings liegen die wichtigsten Lager in Gebieten, die der deutschen Wirtschaft jetzt zum Teil entzogen sind, nämlich im Ruhrgebiet, an der Saar und in Oberschlesien; auf das Ruhrgebiet allein entfallen drei Viertel der deutschen Gesamtförderung. Die Förderung an Steinkohle stieg in Deutschland mit dem Aufblühen der Industrie von 37 Millionen Tonnen im Jahre 1875 bis auf 200 Millionen Tonnen vor Ausbruch des Krieges.

Wichtige kohlenproduzierende Länder sind in Europa noch England, Belgien und Frankreich; aus England kommt vor allem auch Anthrazit in großen Mengen. Trotz des riesenhaften Verbrauches dürften die Steinkohlenschätze noch lange ausreichen; man hat den Gesamtvorrat von Steinkohlen auf deutschem Gebiet allein auf 195 Milliarden Tonnen berechnet, von denen über 50% auf Oberschlesien entfallen. Unter Zugrundelegung des heutigen Verbrauches würden diese Lager also noch rund 1000 Jahre vorhalten.

c) Kristalline Schiefer.

Die kristallinen Schiefer nehmen eine Sonderstellung ein, lassen sie sich doch weder zu den Eruptiven, noch zu den Sedimenten rechnen. Es sind Gesteine, die völlig kristallin ausgebildet sind, dabei aber eine schieferige Struktur aufweisen. Wo sie auftreten, stellen sie zumeist die ältesten Gesteine dar; man hat sie deshalb auch als Urgebirge bezeichnet und in einen älteren Urgneis- und einen jüngeren Urglimmerschiefer eingeteilt. Nachdem man aber kristalline Schiefer auch in jüngeren Erdschichten festgestellt hat, mußte die alte Ansicht, es handle sich bei diesen Gesteinen um die erste Erstarrungskruste der Erde, fallen gelassen werden. Man nimmt heute an, daß die kristallinen Schiefer Umwandlungsprodukte anderer Gesteine, und zwar von Eruptiven und Sedimenten, darstellen, wenn wir auch noch nicht wissen, durch welche Kräfte die Umwandlung bedingt worden ist. Kontakt- und Dynamometamorphose verursachen wohl kristalline Umbildungen, aber sie reichen zur Erklärung der überall im Untergrund vorhandenen kristallinen Gesteine nicht aus.

Von besonderer Bedeutung für die Kenntnis der kristallinen Schiefer waren die Arbeiten von Sauer und Rosenbusch, die sich mit den Gneisen des Schwarzwaldes beschäftigten. Es wurde festgestellt, daß im Schwarzwaldgebiet zwei grundsätzlich verschiedene Gneistypen zu unterscheiden sind: der Schapbach- oder Orthogneis mit stets gleichbleibender Struktur und einförmigem Mineralbestand und der Rench- oder Paragneis mit wechselnden Gemengteilen und Strukturen. Die ersteren sind als kontaktmetamorph veränderte Eruptiva, die letzteren als umgewandelte Sedimentgesteine aufzufassen.

Die kristallinen Schiefer enthalten die gleichen Bestandteile wie die Eruptiva, besonders also Quarz, Glimmer, Feldspat, Augit und Hornblende. Durch parallele Lagerung der Glimmer- und Hornblendeplättchen entsteht am häufigsten eine schieferige Struktur, die auch eine gute Spaltbarkeit bedingt. Daneben finden sich auch körnige und flaserige Strukturen; bei den letzteren legen sich dünne Minerallagen um Knoten von Quarz oder Feldspat herum.

Die Lagerung der kristallinen Schiefer entspricht derjenigen der Sedimente, bei Störungen sind sie wie diese gehoben und gefaltet. Von den kristallinen Schiefern seien wiederum nur die wichtigsten genannt:

Gneis besteht wie Granit aus Quarz, Feldspat (zumeist Orthoklas) und Glimmer, von denen der letztgenannte durch die parallele Lagerung seiner Kristalle die schieferige Struktur des Gesteins erzeugt. Die verbreitetsten Varietäten sind Glimmergneise mit stark hervortretendem Biotit oder Muskovit, Hornblendegneise und Augitgneise. Übergänge zwischen Gneis und Granit sind ebenfalls häufig und werden als Gneisgranit und Granitgneis bezeichnet.

Gneise sind über die ganze Erde verbreitet, am weitesten im Gebiet von Skandinavien und Finnland. In Deutschland treten sie im Erzgebirge, Fichtelgebirge, Spessart und Schwarzwald auf.

Glimmerschiefer setzen sich in der Hauptsache aus Glimmer und Quarz zusammen und sind durch scharf ausgeprägte Schieferung ausgezeichnet. Nach der Glimmersorte unterscheidet man die meist dunklen Biotitschiefer von den hellen

Muskovitschiefern. Als wichtige Nebenbestandteile sind Granat, Hornblende, Talk, Graphit und Pyrit zu nennen.

Glimmerschiefer sind ebenfalls weit verbreitet und kommen häufig zusammen mit Gneis vor.

Chloritschiefer sind grüne, aus Quarz, Chlorit und Feldspat bestehende schieferige Gesteine; sie finden sich vielfach in Tirol (Zillertal, Pfitschertal) und bergen häufig wohlausgebildete Kristalle verschiedener Mineralien.

Phyllit oder Urtonschiefer ist ein Sammelname für dünnschieferige, meist graue Gesteine, die in ihrer Zusammensetzung dem Glimmerschiefer ähneln, sich aber von diesem durch die mikroskopische Größe ihrer Gemengteile unterscheiden. Die Phyllite nehmen die Grenze zwischen dem Urgebirge und den eozoischen Sedimenten ein, petrographisch stehen sie zwischen den kristallinen Schiefern und den Tonschiefern.

* * *

Vierter Teil

Die geologischen Kräfte

Grundzüge der allgemeinen Geologie

Von Dr. C. W. Schmidt

Gliederung des vierten Teiles

Seite

I. Tektonik 189

II. Die endogenen Kräfte 202

A. Der Vulkanismus 202
B. Die Erdbeben 228
C. Gebirgsbildende Vorgänge 238

III. Die exogenen Kräfte 245

A. Die geologische Arbeit der Atmosphäre 246
B. Die geologische Arbeit des Wassers 253
a) Verwitterung, Grundwasser, Quellen . . . 253
b) Die Bewegung des Wassers in den Flüssen . 273
c) Die Arbeit des fließenden Wassers 276
d) Die Seen 298
C. Die geologische Arbeit des Eises 302
D. Die geologische Arbeit des Meeres 314
E. Die geologische Arbeit der Organismen 324

I. Tektonik.

Von den Gesteinen, die wir im vorigen Abschnitt nach ihrer Beschaffenheit und ihrer Verbreitung kennengelernt haben, zeigen sich die Eruptiva im wesentlichen so, wie sie sich einst gebildet haben, während die Sedimentgesteine häufig in ihrer Lagerung nachträglich gestört wurden. Die Wissenschaft, welche sich mit der Lagerung der Gesteine beschäftigt, wird Tektonik genannt.

Grundbegriffe: Die einzelnen Gesteinsplatten, aus denen sich die Sedimentgesteine zusammensetzen, werden als Schichten bezeichnet. Dies sind also von ebenen Flächen (Schichtflächen) begrenzte Körper, die eine große horizontale, aber zumeist nur eine geringe vertikale Ausdehnung aufweisen. Die einzelnen Schichten werden durch mehr oder weniger deutliche Schichtfugen voneinander getrennt, die entweder durch eine Pause in der Ablagerung oder durch einen Wechsel im Gestein bedingt worden sind. Die über einer bestimmten Schicht befindliche Schicht heißt das Hangende, die darunter gelegene das Liegende der Schicht, deren Dicke geologisch als Mächtigkeit bezeichnet wird. Diese Bezeichnungen sind alte Bergmannsausdrücke; da die geologische Wissenschaft ein Kind des praktischen Bergbaues ist, darf es nicht wundernehmen, daß zahlreiche Vulgärausdrücke in die wissenschaftliche Terminologie aufgenommen worden sind (Abb. 144).

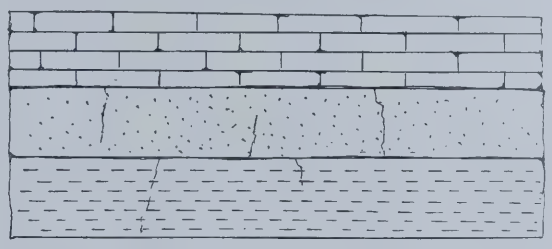
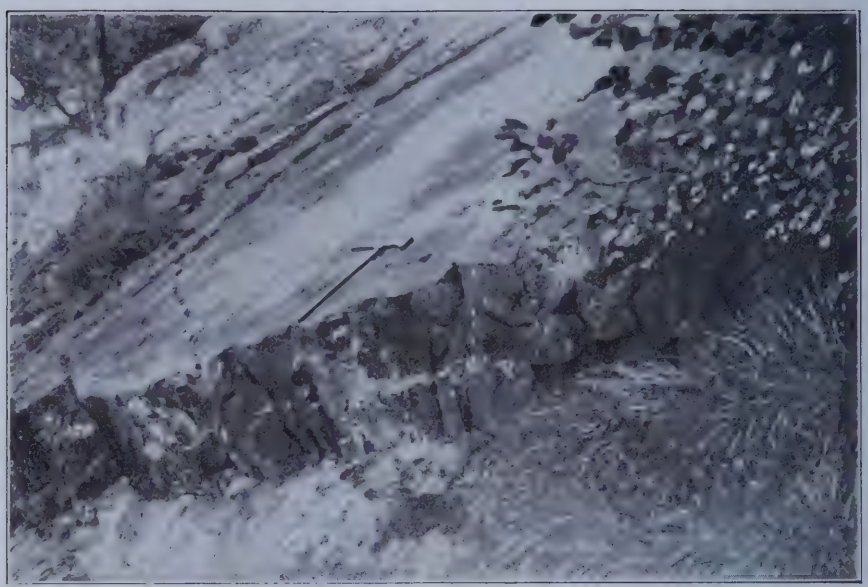


Abb. 144. Schematische Darstellung einer Schichtenfolge von drei verschiedenen Gesteinen. Durch Signaturen werden die einzelnen Schichten eines „Profils" voneinander unterschieden.

. An einem praktischen Beispiel sei einmal die Bildung von Schichten erläutert und zugleich der Wechsel der Gesteine, wie er in einer Schichtenreihe häufig zu beobachten ist, erklärt. Wir stellen uns einen Fluß vor, der in einen kleinen See einmündet. Er führt diesem ständig Material zu, das sich am Boden des Sees absetzt. Im Frühjahr, zur Zeit der Schneeschmelze, wälzt der Fluß gewaltige Wassermengen und mit ihnen auch große Blöcke und Gerölle zu Tal; die entstehende Schicht wird sich aus diesem groben Material zusammensetzen und später, nach genügender Verfestigung, ein Konglomerat ergeben. Allmählich nimmt die Wassermenge und damit auch die lebendige Kraft des Flusses ab; er ist jetzt nur imstande, Sand zu



Phot. R. Potonié.

Abb. 145. Eine geneigte Schichtfläche. Die Richtung des kurzen Hammers bezeichnet das „Streichen", diejenige des langen Hammers das „Fallen" der Schicht.

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 146. Wenig geneigte Schichten des Muschelkalkes von Rüdersdorf bei Berlin mit kleinen Verwerfungsspalten.

transportieren, der sich als feinkörnige Schicht über dem Konglomerat ablagert. Geht der Wasserstand noch mehr zurück, so werden gerade noch Flußtrübe und feiner Schlamm von der Strömung mitgeführt und als Tonschicht abgesetzt. Eine längere Regenperiode kann aber auch wieder sofort einen neuen Gesteinswechsel bedingen.

Wir erkennen aus diesem Beispiel, daß das Material wechseln muß, und zwar in um so höherem Grade, je kleiner die Ausdehnung des Absatzgebietes ist. Bei der Sedimentation in Meeresbecken ist naturgemäß der Wechsel im Gestein viel weniger stark ausgeprägt als in der lokalen Ablagerung eines kleinen Sees. Wir erkennen aber auch, daß die Mächtigkeit einer Schicht niemals der Ausdruck für eine bestimmte und fixierbare Zeitdauer sein kann; eine dicke Schicht kann gegebenenfalls viel geringere Zeit zu ihrer Ablagerung benötigt haben als eine weit dünnere Schicht. Diese Erkenntnis ist wichtig im Hinblick auf die Versuche, aus der Mächtigkeit der gesamten Schichten das Alter der Erde zu errechnen.

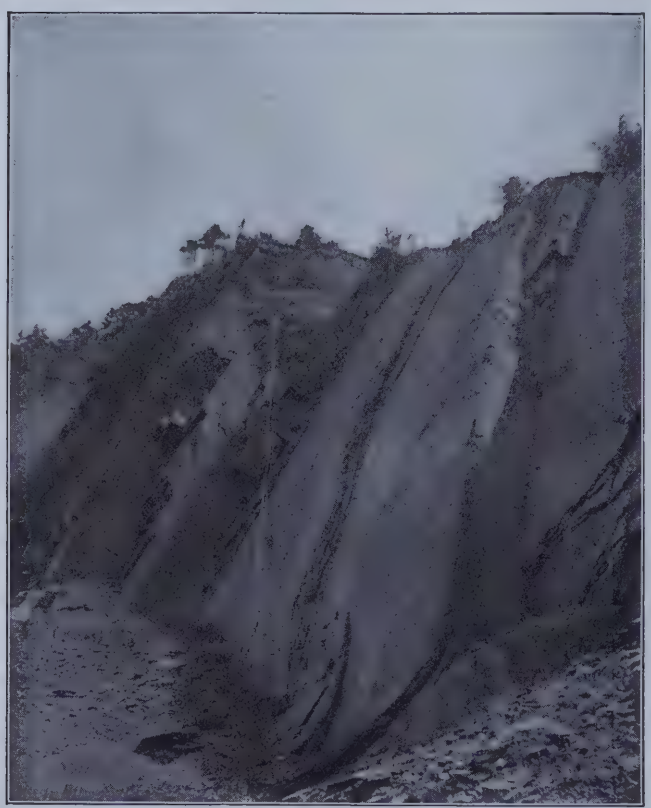
Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 147. Schräggestellte Schichten von Wettersteinkalk im Zugspitzgebiet. Im Vordergrund die Knorrhütte.

Wenn wir die im Beispiel vorgeführten Schichten am Grunde des Sees nach allen Seiten verfolgen, so kommen wir schließlich stets an Punkte, an denen sie aufhören, weil das abgesetzte Gestein nicht weiter gereicht hat. Schon vorher hat die Mächtigkeit der betreffenden Schicht allmählich abgenommen; sie „keilt aus", wie der Geologe sagt.

Die gebildeten Sedimente sind naturgemäß zunächst in horizontalen (nur am Rande schräg verlaufenden) Schichten abgesetzt. Wenn man durch das Saaletal in der Jenaer Gegend fährt, kann man an den seitlichen Plateauabhängen deutlich die wagerechte Schichtung auf weite Entfernung hin erkennen. Allerdings gilt dies nur für einige besonders harte Schichten, die wegen ihrer großen Widerstandsfähigkeit gegenüber der Verwitterung deutlich hervortreten, während die anderen, weicheren Schichten durch Schutt oder durch das sie bedeckende Pflanzenkleid verhüllt werden. Deshalb lassen sich auch solche Studien tektonischer Art am besten

dort machen, wo durch natürliche (Täler) oder künstliche Einschnitte (Eisenbahntrassen, Steinbrüche) der Blick auf das unverhüllte Gestein freigegeben ist Horizontal verlaufende Schichten sind nun allerdings gar nicht so häufig, vielmehr haben die normal abgesetzten Schichten zumeist im Verlaufe der Erdgeschichte Lagerungsänderungen erfahren. Die Lage einer solchen schräggestellten Schicht im Raum läßt sich natürlich durch zwei Richtungen genau feststellen, und zwar spricht man vom Streichen einer Schicht, das durch die Schnittlinie der Schicht mit der Horizontalen bezeichnet ist, und vom Fallen, worunter man die Neigung der Schicht gegen die Horizontale versteht. Streichen und Fallen der Schichten spielt eine große Rolle für den praktischen Geologen; es wird deshalb auf geologischen Karten auch stets angegeben (Abb. 145).



Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 148. Steil aufgerichtete devonische Schiefer am Rande des Thüringer Waldes (Bohlen bei Saalfeld).

Der Grad der Schrägstellung wechselt von einem kaum merklichen Abweichen aus der Horizontalen bis zur senkrechten oder saigeren Stellung der Schichten. Unsere Bilder zeigen einige Beispiele hierfür (Abb. 146—149).

Eine besondere Abart der Schichtung stellt die sog. Kreuzschichtung dar, die in einem ständigen Richtungswechsel der einzelnen Schichten besteht (Abb. 150). Sie findet sich einerseits in Deltas oder in den Ablagerungzonen kleiner reißender Bäche, anderseits in durch Wind zusammengetragenen Gesteinen. Besonders schön tritt die Kreuzschichtung in den Bänken des mittleren Buntsandsteins hervor.

Wenn wir über eine horizontale Schicht hinwegwandern, so haben wir stets den gleichen petrographischen — oder auch historischen — Boden unter unseren Füßen. Sobald aber die Schichten geneigt liegen, ändert sich das Bild. Da nämlich die einzelnen Schichten an der Oberfläche „ausstreichen", wandern wir über die verschiedenen „Schichtköpfe" hinweg und berühren dementsprechend auch ganz unterschiedliche Zeitabschnitte, da jede Schicht ja der sichtbare Ausdruck einer bestimmten Zeit ist. Solche aufgerichteten Schichten sind in den Alpen etwas Alltägliches. Geht

Phot. Wehrli A.-G., Zürich.

Deutliche Abgrenzung von Verrucanoschichten auf Malm.
Lazerstöckli 2900 m, Mannen und Segnespaß.

Phot. Wehrli A.-G., Zürich.

Zwei Landschaftsbilder von Überschiebungen in den Alpen.

Die Mythen am Vierwaldstättersee. Die Kalkkegel der Mythen sind auf die Flyschzone hinaufgeschoben worden und treten deutlich als Fremdlinge in der Landschaft hervor.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

die Aufrichtung der Schichten noch über 90° hinaus, so spricht man von Überkippung. In diesem Fall liegt dann die ältere Schicht nicht, wie es normalerweise der Fall ist, unter, sondern über der jüngeren. Glänzende Beispiele für Überkippungen weist das Hochgebirge auf, aber auch manche Schichten am Nordrand des Harzes sind überkippt gelagert.

Faltung. Solche Schichtenaufrichtung kann durch einseitigen Druck oder durch seitlichen Zusammenschub entstehen. Pressen wir ein Paket Handtücher oder Tischtücher, die ordnungsgemäß gelegt sind, seitlich allmählich zusammen, so legen sie sich in Falten, d. h. sie weichen dem Druck dadurch aus, daß sie sich nach oben hin aufrichten. Ganz entsprechend verhalten sich auch die Gesteinsschichten. Folgt man einer schrägstehenden Schicht, so wird man häufig die Beobachtung machen, daß sich ihre Richtung allmählich in die entgegengesetzte umkehrt, so daß eine regelrechte Falte entsteht, die sich bisweilen mehrfach wiederholt. Bei einer solchen Falte lassen sich Sättel und Mulden unterscheiden. Sättel oder Antiklinalen sind gleichsam die Dachfirste der Schicht, Mulden oder Synklinalen die Einbiegungen derselben. Falten repräsentieren sich demnach im Schemabilde, wie es Abb. 154—155 veranschaulichen, in der Natur sind sie sowohl im kleinen wie im großen Maßstab nachweisbar (Abb. 151 und 156).

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 149. Senkrecht stehende, „saigere" Schichten verschiedener „Mächtigkeit" am Achenpaß in Nordtirol.

Ganze Gebirgsteile verdanken Faltungsvorgängen ihre Entstehung, es ist aber nicht einfach, den Verlauf der Falten immer zu verfolgen, da sie häufig in größeren Partien zerstört sind. Oft geht die Abtragung der Gebirge so weit, daß von den Faltungen nur einzelne kleine Erhebungen übriggeblieben sind.

Faltungen finden wir in allen Gebieten der Erde. Nicht nur Gebirge, sondern auch große Teile ebenen — im Lauf der geologischen Vergangenheit aus Gebirgen eingeebneten — Landes bestehen aus gefalteten Schichten. In Deutschland setzen

sich die Kerne der Mittelgebirge, so des Harzes, des Thüringer Waldes, des Rheinischen Schiefergebirges aus gefalteten Schichten zusammen. Besonders deutlich sind die Faltungen in den jüngeren Hochgebirgen entwickelt. Die Grate und Türme der Alpen sind oftmals durch steilgerichtete Schichten bedingt, und die gewaltige Höhe, zu der sich die Bergriesen auftürmen, hat nicht selten ihre Ursache in der wiederholten Übereinanderlagerung von Falten (Abb. 158 u. 159). Es ist häufig sehr schwer, Klarheit in die verworrenen Verhältnisse komplizierter Faltungen hineinzubringen, und es gehört schon ein gutgeschulter „tektonischer Blick" dazu, die einzelnen Verbindungslinien, Luftsättel und Tiefenmulden in die Landschaft hineinzudenken. So ist es verständlich, daß häufig erst durch jahrelanges Studium, das auf lebensgefährlichen Kletterfahrten erreicht worden ist, der genauere Aufbau eines Alpengebietes ergründet werden kann. Der Hochtourist ahnt nur selten etwas von den Mühen einer solchen geologischen Forschung, obgleich die Kenntnis der Gesteinslagerung auch für ihn, namentlich bei der Kletterarbeit, von großer Wichtigkeit ist.

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 150. Kreuzschichtung im Buntsandstein. Ruine Hohbarr bei Zabern (Vogesen).

Es erhebt sich nun die Frage, auf welche Weise solche starke Verbiegungen und Verfaltungen bei einem so spröden oder brüchigen Material, wie es die Gesteine doch sind, möglich sein können. Man muß schon annehmen, daß die Gesteine infolge des auf ihnen lastenden Druckes zeitweilig eine gewisse Plastizität aufweisen, etwa wie das Eis, das an sich außerordentlich spröde ist, unter stetigem, langsam wirkenden Druck aber so plastisch wird, daß es sich durch enge Öffnungen pressen läßt. Die dünne Auswalzung stark verfalteter Schichten bestärkt uns in der Annahme ihres zeitweiligen plastischen Zustandes, der indessen in seinem Ausmaß von der petrographischen Beschaffenheit und von der Mächtigkeit der einzelnen Schichten abhängt.

Überschiebungen. In engem Zusammenhang mit den Faltungen stehen die Überschiebungen, welche dadurch entstehen, daß liegende Schichten über das

Phot. Wehrli A.-G., Zürich.

Abb. 151. Faltenbildungen von Doggerschichten am Faulhorn.

Phot. Wehrli A.-G., Zürich.

Abb. 152. Senkrecht stehende Schichten von Kreidekalk in der Säntisgruppe. Die Kreuzberge, von der Saxerlucke aus gesehen.

hangende hinweggeschoben werden. Die Überschiebungen haben sich als sehr wichtige geologische Erscheinungen herausgestellt, da sie sich zumeist auf sehr weite Räume erstrecken und oft die Tektonik großer Gebiete bestimmen.

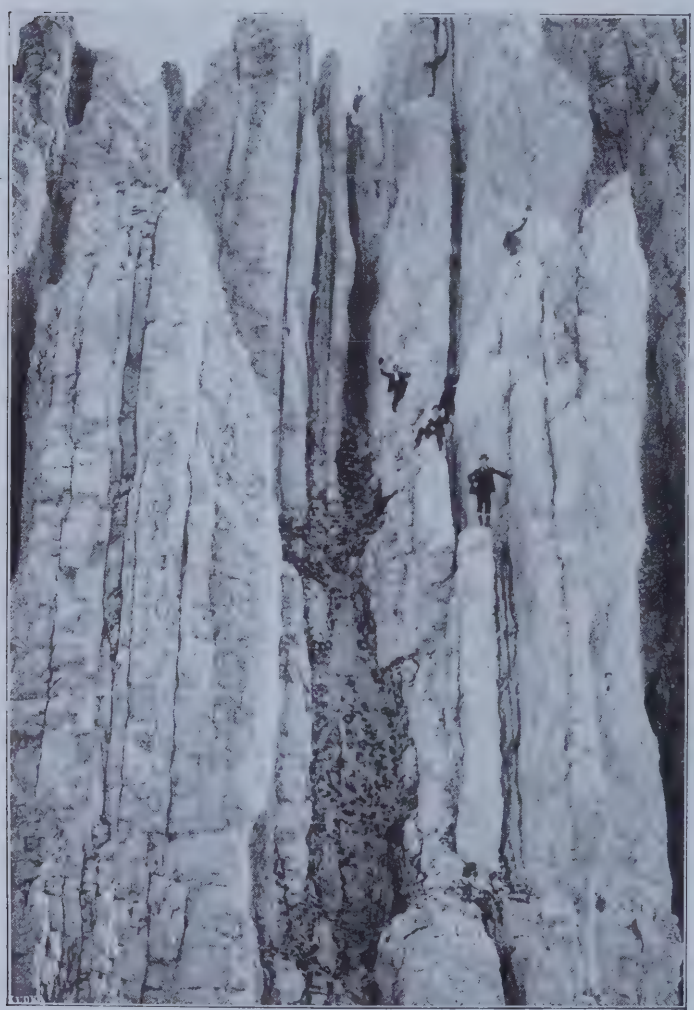


Abb. 153. Detailbild aus den Kreuzbergen (Abb. 152). Aufstieg zum zweiten Kreuzberg. Die Schichten stehen genau vertikal. Zwischen den härteren Bänken sind weichere Lagen eingeschaltet; diese setzten der Verwitterung weniger Widerstand entgegen, so daß Klüfte und Kamine entstanden, die die Besteigung der Gipfel ermöglichen und die weitere Zerstörung des Gesteins erleichtern.

Seitdem man die von Meißen bis Zittau reichende Lausitzer Überschiebung, bei der älterer Granit in einer Ausdehnung von 170 km Länge auf jüngere Kreideschichten hinaufgeschoben ist, erkannt hatte, hat man Überschiebungen in vielen Teilen der Erdoberfläche nachgewiesen.

Das Idealgebiet für das Studium dieser tektonischen Erscheinungen stellen indessen die Alpen dar. Die Schichten am nördlichen Alpenrand, und zwar von der Isère bis zur Salzach, sind durch einen gewaltigen Druck, der vom Zentralgebiet der Alpen ausging, weit nach Norden vorgeschoben und auf jüngere Gesteine aufgelagert worden. In genügend tiefen Tälern tritt dementsprechend eine verkehrte Schichtenfolge zutage, indem die unteren Teile durch geologisch jüngere Gesteine gebildet werden. Allerdings ist das überschobene Gestein, die Überschiebungsdecke, zumeist mehr oder weniger den Kräften der Abtragung zum Opfer gefallen. Oft sind nur einzelne „Klippen" erhalten geblieben, die als fremdartige Bestandteile auf dem jüngeren Untergrund der Landschaft „schwimmen" und den Zusammenhang mit ihrer „Wurzel" ganz verloren haben (Abb. 160). Als Paradebeispiel für diese Klippenbildung gelten die bekannten Mythen am

Vierwaldstätter See. Auf den tertiären Massen der sogenannten Flyschzone liegen harte Schichten, die sich aus Jura (unten) und Kreide (oben) zusammensetzen. Da der Flysch ein sehr weiches Gestein ist, fällt die Fremdartigkeit des die Gipfel bildenden kalkigen Gesteins auch rein landschaftlich sehr deutlich in die Augen (Tafel XII). Die Überschiebungen haben für die Erkenntnis des Alpenbaues eine immer zunehmende Rolle gespielt, wenn auch die von den einzelnen Alpengeologen aufgestellten Theorien voneinander abweichen und stark subjektiv gefärbt sind.

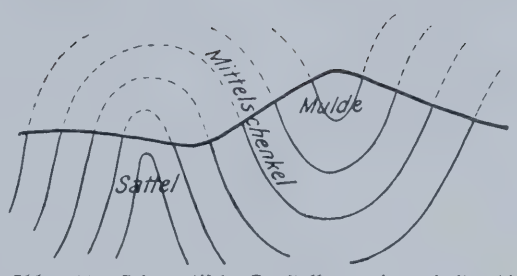
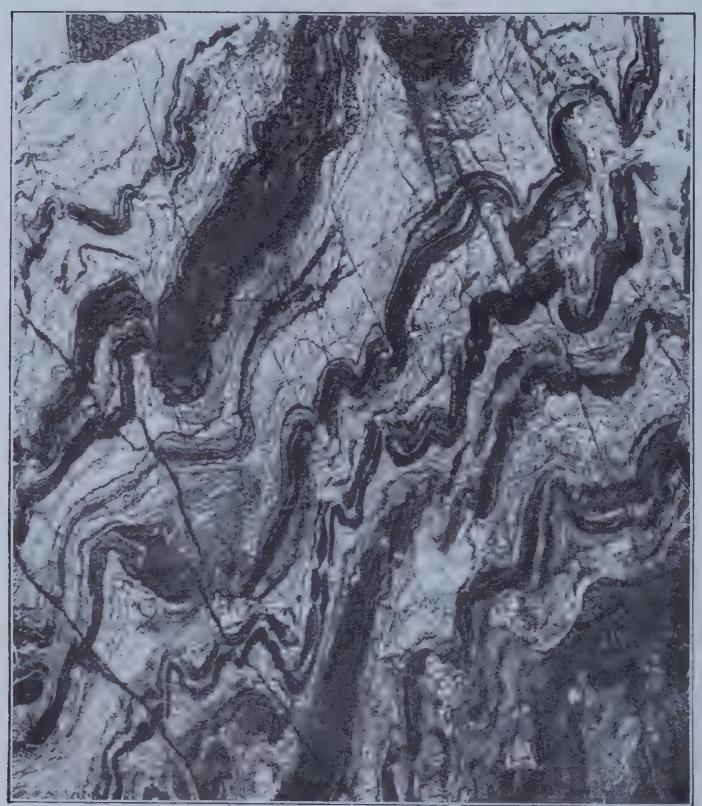


Abb. 154. Schematische Darstellung einer Falte, die später abgetragen worden ist. Aus der symmetrischen Wiederholung der Schichten muß man die ehemalige Falte mittels eines Luftsattels rekonstruieren.

Abb. 155. Schematische Darstellung verschiedener Arten von Falten, deren Zusammenhänge durch „Luftsättel" wiederhergestellt sind (n. Heim).

Abb. 156. Zu einem Sattel gefaltete Schichten des Muschelkalks bei Gotha in Thüringen (n. Walther).

Die gewaltigsten Überschiebungen sind im skandinavischen Hochgebirge nachgewiesen worden. Ganz alte Gesteine sind hier auf silurische Schichten hinaufgeschoben worden, und zwar in einer Ausdehnung, die der Ausdruck einer für uns unfaßbaren Kraftentfaltung ist. Handelt es sich doch um eine Scholle, die bei einer Mächtigkeit von 1500 m auf 1800 km Länge 140 km weit auf die jüngeren Schichten hinaufgedrückt wurde. Ähnliche Überschiebungen — wenn auch nicht in so riesenhaften Ausmaßen — treffen wir im schottischen Hochland und im Gebiet der nordamerikanischen Appalachen an.



Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 157. Fältelungen im Kalk. Solche Miniaturfaltungen sprechen für die zeitweilige Plastizität der Gesteine.

Verwerfungen und Brüche. Handelte es sich bei den bisher behandelten tektonischen Erscheinungen um Störungen, die durch seitlich, also horizontal wirkende Kräfte veranlaßt waren, so gibt es nun auch eine Anzahl von Störungen, die durch vertikal oder radial ansetzende Kräfte hervorgerufen worden sind. Zu ihnen gehören die Verwerfungen.

Verwerfungen entstehen dadurch, daß ein Teil einer einst zusammenhängenden Gesteinsscholle an einer Kluft absinkt, so daß er unterhalb seiner früheren Lage zu liegen kommt. Bevor dieses „Absinken" der Scholle erfolgen kann, muß sich also erst einmal eine Kluft bilden, und dies geschieht dadurch, daß das Gestein zu stark gezerrt wird. Der sich auf diese Weise bildende Riß kann jeden Neigungswinkel zwischen 0 und 90° haben, seine Breite ist ebenfalls ganz verschieden. Der Abstand, um den eine bestimmte Schicht absinkt, heißt Sprunghöhe; mißt man sie auf der Kluft selbst, so spricht man von der flachen Sprunghöhe, während die saigere Sprunghöhe durch den vertikalen Abstand zwischen dem stehengebliebenen und dem abgesunkenen Flügel der Verwerfung dargestellt wird.

Verwerfungen in kleinem — einige Zentimeter betragenden — Ausmaß kann man fast an jedem Aufschluß eines Sedimentgesteines feststellen, aber auch

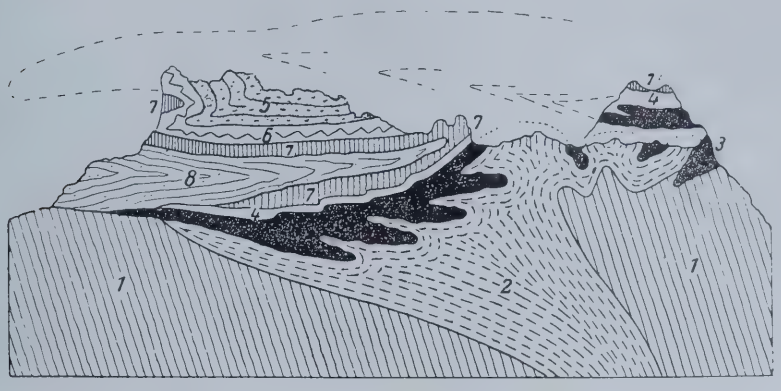


Abb. 158. Profil der liegenden Falten der Dents de Morcles (Wallis).
1. Phyllitische Schiefer, 2. Karbon, 3. Trias, Lias, Dogger, 4. Malm, 5. Neokom, 6. Urgon, 7. Nummulitenschichten, 8. Flysch. (Nach Renvier.)

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 159. Große Schichtenfaltung am Wiedemer in den Allgäuer Alpen.
Im Vordergrund das Luitpoldhaus.

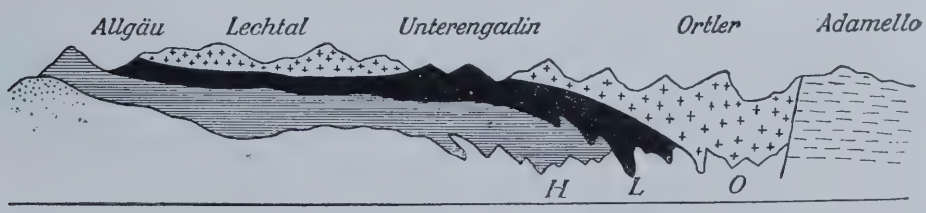


Abb. 160. Schematische Darstellung der Alpenüberschiebung.
H Helvetische Kalkdecke, L Lepontinische Klippendecke, O Ostalpine Decke (nach Steinmann).

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 161. Abbiegung und Verwerfungen von Muschelkalkschichten in einem Bahneinschnitt bei Weimar (jetzt wieder verwachsen).

große Verwerfungen gehören nicht zu den Seltenheiten. Häufig kommen zahlreiche Verwerfungen zusammen vor: es entstehen dann die sogenannten Staffelbrüche, bei denen die Schollen immer tiefer absinken, so daß sich ein treppenförmiger Aufbau der Landschaft ergibt, wie er für das schwäbische Stufenland bezeichnend ist (Abb. 162).

Wenn eine Scholle stehen bleibt oder gar nach oben gedrückt wird, während die seitlichen absinken, entsteht ein Horst, d. h. eine von Senken seitlich begrenzte Gebirgsmasse. Horste sind beispielsweise der Harz und der Thüringer Wald, der Schwarzwald und die Vogesen. Im Gegensatz dazu stehen die Gräben, die schmale, abgesunkene Schollen zwischen stehengebliebenen Landteilen darstellen. Auch Grabensenken finden sich verhältnismäßig häufig; ein treffliches Beispiel bietet die

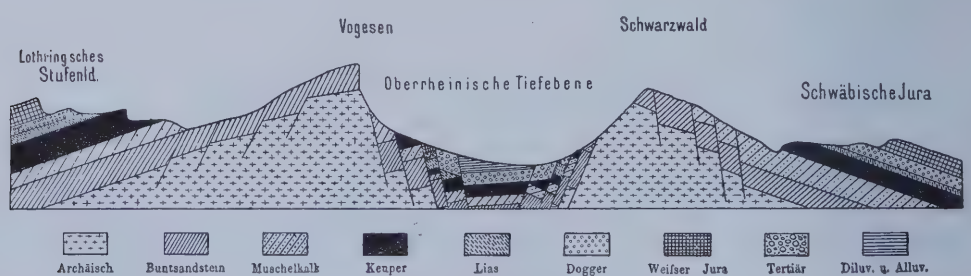


Abb. 162. Profil durch die oberrheinische Tiefebene und ihre Randgebirge, die zahlreiche Staffelbrüche aufweisen. Die oberrheinische Tiefebene ist durch Einbruch entstanden; Schwarzwald und Vogesen sind die stehengebliebenen Horste eines einst zusammenhängenden Gebirges.

oberrheinische Tiefebene, die zwischen Schwarzwald und Vogesen eingesunken ist und bei ihrer Ausdehnung von 300 km Länge und durchschnittlich 30 km Breite eine deutliche Schramme im Antlitz der Erde darstellt (Abb. 162 und 163).

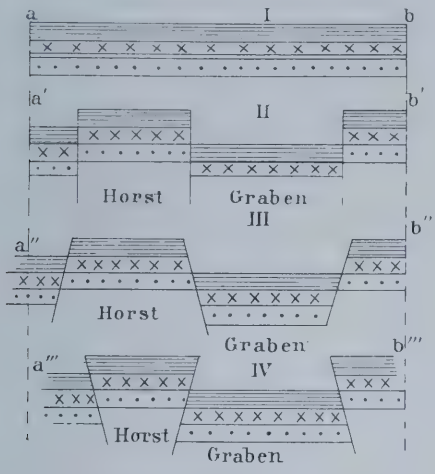


Abb. 163. Drei verschiedene Ausbildungen von Horsten und Gräben. I. Normale Schichtenablagerung, II—IV Graben- und Horstbildung.

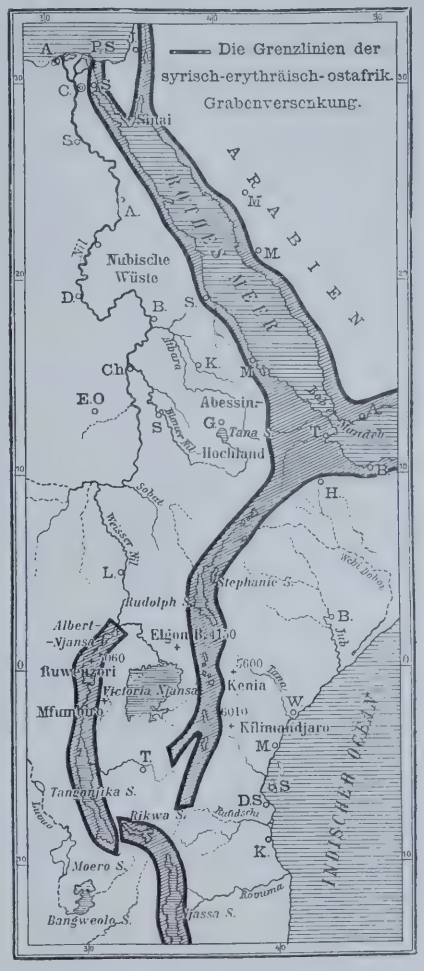


Abb. 164. Das Grabensystem Syriens, des Roten Meeres und Ostafrikas.

Deutlich als tektonische Gräben markieren sich in der Landschaft der Gardasee und der Kristianiafjord; auch der 600 km lange und bis 1000 m tiefe Baikalsee stellt sich, wie auch das Tal des Jordans, als geologischer Graben dar. Die gewaltigste Grabenversenkung auf der ganzen Erde liegt in Ostafrika: sie beginnt am Sambesi und ist durch die langgestreckten Becken des Njassa- und des Tanganjika-Sees gekennzeichnet. Im Norden geht die Bruchzone weiter und umschließt das Rote Meer, um im Jordantal zu endigen; auch nach Süden läßt sie sich noch über den Sambesi hinweg verfolgen, so daß wir auf eine Gesamtlänge von etwa 7000 km kommen (Abb. 164).

Wenn Verwerfungen konzentrisch oder bogenförmig zueinander verlaufen, so entstehen sogenannte Kesselbrüche, die also rings von höheren Gebieten umgeben sind. Die bekanntesten deutschen Kesselbrüche treten in der Landschaft deutlich hervor; es sind das Hegau nördlich des Rheinfalles und das Nördlinger Ries in Württemberg. Vielfach sind die Kesselbrüche vom Meer überflutet worden und bilden tiefe Becken, so das Schwarze Meer, der nördliche Teil der Adria, der Golf von Mexiko und gewisse Bezirke des malaiischen Meeres.

Wenn Schichten aneinander absinken, kommt es häufig zu einer Glättung des Gesteins, die man als Harnisch bezeichnet. Anderseits wird auch häufig

das Gestein vollständig zertrümmert; die Verwerfungsspalten sind dann mit zermahlenem Gestein völlig ausgefüllt.

Sobald nach der tektonischen Störung neue Sedimente gebildet werden, lagern sich diese wieder wagerecht über die verbogenen alten Schichten ab, so daß eine deutliche Unstimmigkeit zwischen den vor und den nach der Störung entstandenen Sedimenten zu beobachten ist. Diese wird in der Sprache der Geologen als Diskordanz bezeichnet; sie steht im Gegensatz zur Konkordanz, der gleichsinnigen Lagerung aller Schichten (Abb. 165). Die Diskordanz gibt uns stets einen genauen Anhalt, um den Zeitpunkt eines Störungsvorganges festzustellen. Im Saaletal, am Rande des Thüringer Waldes, ist eine prachtvolle Diskordanz wenige Kilometer südlich von Saalfeld am Bohlen aufgeschlossen. Wir sehen hier steil aufgerichtete und von Verwerfungen betroffene Schiefer des oberen Devons, über welchen wagerecht verlaufende helle Kalksteine der Zechsteinformation gelagert sind. Da zwischen dem oberen Devon und dem Zechstein die Karbonformation liegt, muß während dieser Zeit die Aufrichtung der alten Schichten erfolgt sein. Es entstand also zunächst ein Faltengebirge, das aber zum großen Teil wieder abgetragen wurde, und zwar so weit, daß in der folgenden Erdperiode das Meer darüberfluten und auf den eingeebneten Gebirgsboden neue Sedimente absetzen konnte. Trotzdem solche Meeresüberflutungen oder Transgressionen verhältnismäßig häufig sind, treten Diskordanzen nur dann in die Erscheinung, wenn z. B. Flüsse einen tiefen natürlichen Aufschluß geschaffen haben — sonst verhüllt eben das darüberliegende jüngere Gestein den alten gefalteten Boden.

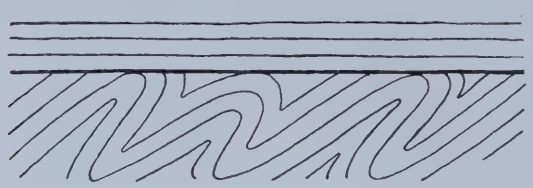


Abb. 165. Schema einer Diskordanz. Über den gefalteten und zum Teil abgetragenen alten Schichten haben sich junge Sedimente ungleichsinnig abgelagert.

II. Die endogenen Kräfte.

Die auf die Erdoberfläche wirkenden geologischen Kräfte werden in endogene (innenbürtige) und exogene (außenbürtige) eingeteilt. Die ersteren gehen auf Erscheinungen innerhalb der Erde zurück, vor allem auf die allmählich fortschreitende Abkühlung der Erde, die letzteren sind auf außerhalb der Erdrinde gelegene Einflüsse zurückzuführen.

Die endogenen Vorgänge gliedern sich ihrerseits in Vulkanismus, Gebirgsbildung und Erdbeben, die in den folgenden Abschnitten gesondert zur Behandlung kommen werden.

A. Der Vulkanismus.

Unter einer vulkanischen Erscheinung versteht man das Zutagetreten fester, flüssiger oder gasförmiger Stoffe aus dem Innern eines Weltkörpers. Die gewaltigen Protuberanzen, die der Sonne entströmen, sind demnach in gleicher Weise

vulkanische Erscheinungen wie die Ringwälle auf dem Mond oder die Eruptionen auf der Erde, nur stellen sie Phasen einer großen Entwicklung dar, die mit gasförmigen Explosionen anhebt, in der allgemeinen Eruption glühflüssigen Gesteins, des Magmas, fortschreitet, sich aber allmählich auf den Durchbruch glühflüssiger Reste an besonders dünnen Stellen der Oberfläche beschränkt, um nach Bildung einer genügend festen und widerstandsfähigen Deckschicht völlig zu ersterben.

Auf unserem Planeten haben wir jenes Stadium erreicht, bei dem nur noch an gewissen Stellen eine vulkanische Tätigkeit möglich ist. Daß diese einst einen weit größeren Umfang zeigte, erweisen die zahlreichen Eruptivgesteine, welche ja sämtlich vulkanischer Tätigkeit ihren Ursprung verdanken.

Im Vulkanismus bietet die Natur uns noch heutigen Tages das gewaltige Schauspiel feuerspeiender Berge und glühender Gesteinsströme, das früher das Erdbild völlig beherrschte. Noch jetzt können wir — wenn auch in kleinerem Ausmaß — die gewaltigen Explosionen miterleben, unter deren Donner Berge zerreißen und die Unterwelt ihre dunklen Tore öffnet. Aus Feuerschlünden dringt wie in Urzeiten das flüssige Gestein der Tiefe, der „ewigen Teufe", ans Tageslicht empor und bildet hier neue Gesteine, füllt Täler bis zu ihrem Rand und richtet Berge auf in gewaltigen Katastrophen, die das Erdenrund erschüttern.

Der Vulkan war seit den ältesten Zeiten der Dämon der Menschheit. Pluto streute von seiner unterirdischen Wohnung Verderben über die Sterblichen aus; auf der Insel Vulcano, die von den Griechen Hiera, „die Heilige", genannt wurde, meinte man die deutlichen Schläge Hephästs zu hören, der in seiner Schmiede tief unter dem rauchenden Berg den Amboß von gewaltigen Hammerschlägen erdröhnen ließ; in den phlegräischen Feldern zeigte man den schaurigen Eingang zur Unterwelt, und zu den Anschauungen über Hölle und Fegefeuer haben sicherlich auch Beobachtungen von Vulkanen den ersten Anlaß gegeben.

Das wahre Wesen des Vulkanismus wurde erst spät erkannt; noch der alte Werner zu Freiberg, der Vater der Geologie, hielt die Eruptionen für große Erdbrände, verursacht durch Kohlenlager, die Feuer gefangen hatten. Erst Alexander v. Humboldt und Leopold v. Buch begründeten die Ansicht vom feurigflüssigen Erdinnern und dessen sichtbaren Spuren in den Vulkanausbrüchen. Sie nahmen auch an, daß die Vulkanberge durch Auftreiben der Bodenschichten von unten her entstünden; durch den Druck des aufwärtsstrebenden Magmas solle der Erdboden zu dem Vulkankegel aufgebogen worden sein. Diese Auffassung fiel aber später zugunsten der Aufschüttungstheorie. Nicht Erhebung, sondern Aufschüttung kennzeichnet die Vulkane. Die feuerspeienden Berge sind eine Neuerwerbung der Erdoberfläche: sie bauen sich auf aus Material der Tiefenzone und nicht aus aufgeblasenen Oberflächenschichten. Allerdings gibt es auch gewisse Vulkane, bei denen eine Hebung der Deckschichten durch das emporquellende Magma stattgefunden hat; niemals allerdings in sehr starkem Ausmaß.

Woher stammt nun die Lava, die aus einem tätigen Vulkan herausfließt? Während man früher den Magmaherd ziemlich weit nach dem Mittelpunkt der Erde hin verlegte, ist man von dieser Ansicht doch mehr und mehr abgekommen, und zwar hauptsächlich durch die Untersuchungen Stübels. Dieser wies mit allem Nachdruck darauf hin, daß es trotz aller Kraft den Lavaströmen unmöglich sein

müsse, die Panzerdecke der Erde zu durchstoßen. Das Magma hat sich vielmehr nach seiner Meinung in einzelnen, innerhalb der festen Erdrinde gelegenen Magmaherden flüssig erhalten und speist von hier aus die Vulkane. Für diese Annahme spricht die Ungleichheit des ausgeworfenen Gesteins bei nahe benachbarten Vulkanen, die unerklärlich wäre, wenn diese ihr Material aus demselben Reservoir bezögen, ferner das völlige Erlöschen gewisser Feuerberge, das sich aus der Erschöpfung ihrer Magmaherde zwanglos begreifen läßt. Aber es gibt auch Tatsachen, die gegen Stübels Theorie von den Magmaherden sprechen, so die Erscheinung, daß Erdperioden gesteigerter Eruptionen mit ganz ruhigen abwechseln, oder der bemerkenswerte Umstand, daß Vulkane der jüngeren geologischen Ver-

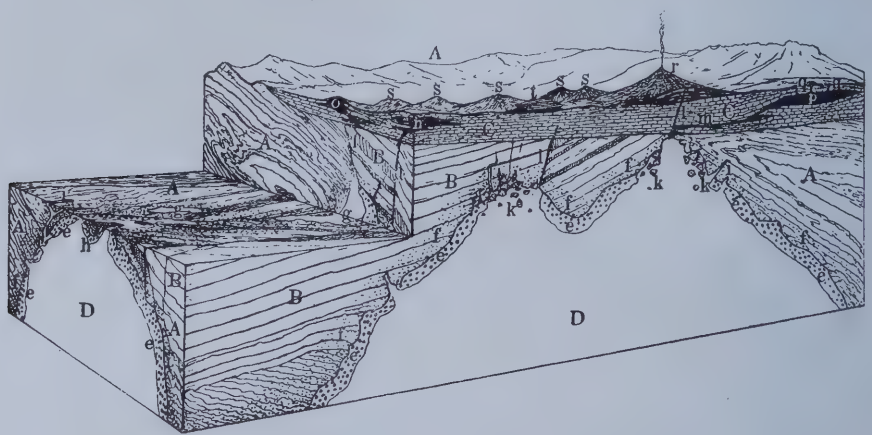


Abb. 166. Schematisches Blockdiagramm zur Erläuterung einiger vulkanologischer Begriffe. (Nach F. E. Sueß.) A paläozoisches Grundgebirge, stark gefaltet und metamorphosiert; B mesozoische, durch Verwerfungen zerstückelte Schichten; C jüngere, über dem Paläozoikum und Mesozoikum transgredierende Schichten. D Batholith; das Magma durchbricht auf breiter Fläche quer die Sedimentgesteine. e Randzone der ersten Erstarrung. f Kontaktwirkung des glutflüssigen Magmas auf das Nebengestein. k vom Nebengestein losgelöste Schollen, im Magma schwimmend bzw. sinkend. l Spalten und Gänge von aufsteigendem Magma erfüllt. m Lagergang. n, o, p Ausbreitungen des Magmas im Nebengestein. r tätiger Vulkan über der tieferen Spalte. s erloschene Vulkane, von rechts gegen links in zunehmendem Grade abgetragen. t größerer Lavastrom.

gangenheit außerordentlich mächtige Massen von Eruptiven gebildet haben. Wie so häufig in der Geologie, ist es auch hier unmöglich, mit einer Theorie alle Erscheinungen zu erklären.

Unter einem Vulkan versteht man eine Anhäufung von vulkanischem Gestein, rings um einen Schlot herum, aus dem dieses ausgeworfen worden ist. Der Vulkan besteht also fast ausschließlich aus Eruptivmaterial, dem nur einige Brocken des bei der Bildung des Schlotes mitgerissenen Gesteins beigemischt sind. Die an die Erdoberfläche gelangenden Massen sind entweder erstarrtes Magma, sogenannte Lava, die in verschiedenen Ausbildungsformen vorkommt, oder durch Zertrümmerung der Lava entstandene Auswurfsmassen, wie Bomben, Steine (Lapilli), vulkanische Asche oder Tuff. Weil diese sämtlich von oben her niederfallen, müssen sie ungefähr nach allen Seiten in gleicher Weise abgelagert werden und bilden deshalb eine ringsum gleichgeneigte Böschung, deren Winkel nach unten hin immer mehr abnimmt, so daß der Berg schließlich allmählich in die Ebene übergeht. So ist es

Abb. 167. Der Vesuv im Jahre 1923. Blick in den Hauptkrater.
Der ebene Kraterboden besteht aus erstarrter Lava; über ihm erhebt sich ein kleiner Eruptionskegel. Im Hintergrund ist deutlich die Schichtung in der Kraterwand erkennbar.

Abb. 168. Monte Mayon auf Luzon (Philippinen).
Das Bild zeigt deutlich die allmählich in das Vorland einmündende Böschungslinie des Vulkans. Durch die Wirkung des fließenden Wassers sind in dem weichen Material zahlreiche tiefe Furchen entstanden.

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 169. Blick in den Krater des Bromo. Ständig entströmen dem Krater Dampfwolken; im weichen Gestein des Kraterrandes hat das fließende Wasser tiefe Rillen eingegraben.

zu erklären, daß wir überall auf der Erde eine typische Vulkanform feststellen können, deren ideale Ausbildung allerdings im einzelnen vor allem durch die Lavaströme mehr oder weniger gestört sein kann (Abb. 168).

Wichtiger als der eigentliche Berg ist der Schlot des Vulkans, der das verbindende Rohr zwischen Erdoberfläche und Magmaherd darstellt. Bisweilen ist ein Vulkan nicht von einem, sondern von einer ganzen Anzahl Schloten durchsetzt, die entweder nebeneinander münden oder im Innern des Berges miteinander in Verbindung stehen. Das letzte Stück des Schlotes ist dann — hauptsächlich durch die Explosivkraft der Gase — meistens in Trichterform ausgeblasen und bildet den eigentlichen Krater (Abb. 169).

Es gibt nun auch Explosionstrichter, ohne daß es zur Bildung von Vulkankegeln kommt. Das sind die in der Eifel häufigen Maare, jene rundlichen, in die Umgebung eingesenkten Trichter, die größtenteils mit Wasser gefüllt sind und in ihrer Melancholie einen typischen Bestandteil der Eifellandschaft darstellen. Als bekannteste Maare seien das Gmündener, das Weinfelder, das Schalkenmehrer Maar und der Laacher See genannt (Abb. 170). Auch in Italien (Nemisee und Albanersee) wie in der Auvergne kommen Maare vor, sonst sind sie sehr selten, da eben nur in Ausnahmefällen die vulkanische Erscheinung mit dem Ausblasen

eines Explosionskraters beendigt war, sondern nun erst eigentlich mit der Aufschüttung von festem Material begann.

Der vulkanische Kuppenberg besteht aus Lavaströmen, aus Lapilli und aus Asche. Seine Krateröffnung setzt sich in dem Schlot fort, der indessen nach Beendigung einer Eruption von erkaltenden Lavamassen abgeschlossen wird. Beginnt dann eine neue Eruption, so muß dieser Gesteinspfropf herausgeschleudert werden, oder das Magma sucht sich nebenan einen Ausweg nach der Oberfläche. In beiden Fällen beginnt also der Ausbruch mit der Bildung eines Explosionskraters, der dann allmählich wieder mehr oder weniger aufgeschüttet wird. Es kann auch vorkommen — wie es beispielsweise beim Vesuv der Fall war —, daß auf dem alten Kraterboden sich mehrere Explosionskegel erheben, die allmählich miteinander verschmelzen. Eine Norm läßt sich nicht angeben, da das Aussehen eines Vulkans sich nach jedem Ausbruch gewandelt hat. Von Bedeutung ist dabei auch das ausgeworfene Material.

Bestehen die Kegel z. B. aus Tuff, also aus dem feinen Staub, der durch die zersetzende Wirkung der heißen Dämpfe aus dem Magma gebildet und während der Eruption durch den austretenden Wasserdampf in Schlamm umgewandelt wird, so können ihre Gehänge höchstens ein Gefälle von 20—30° aufweisen. Gehen aber gleichzeitig viel Steine und Bomben mit herab, so daß eine zähe Schlacke entsteht, so können sich Kegel mit einem Böschungswinkel von 30—45° bilden.

Neben den Maaren und den Kegelbergen gibt es noch eine dritte Form, die allerdings auf Hawai beschränkt ist. Die dort auftretenden Vulkane sind sehr flach,

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

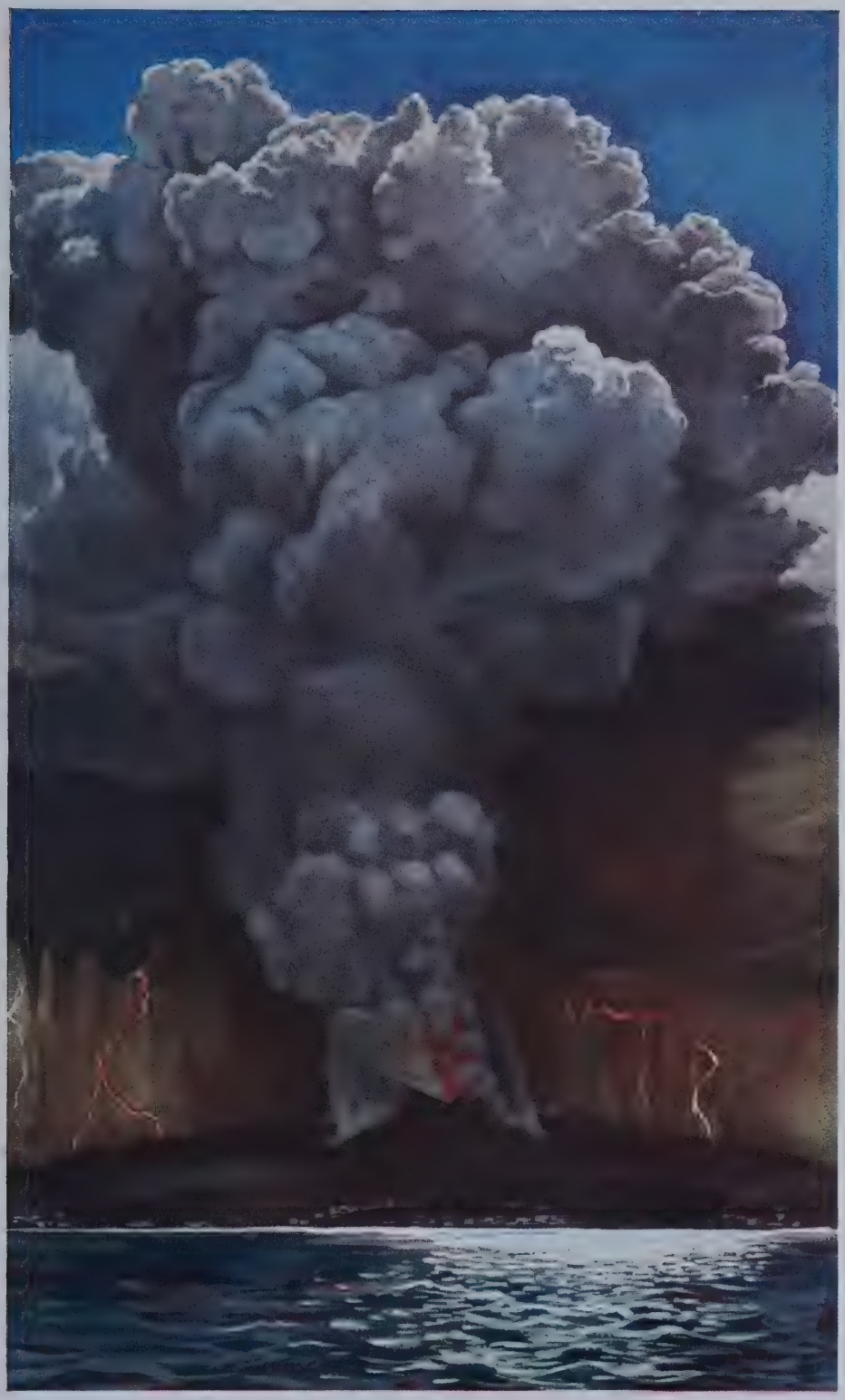
Abb. 170. Das Gmündener Maar in der Eifel, ein mit Wasser gefüllter Explosionskrater.

„schildförmig", und bestehen lediglich aus gewaltigen Strömen einer bei der Eruption sehr dünnflüssigen, deshalb schnell abfließenden Lava. Der Krater ist nicht ein tiefer Trichter, sondern eine flache, ausgedehnte Mulde mit steilen Seitenwänden. Als wichtigste Schildvulkane seien der Mauna Loa (4100 m) und der Mauna Kea genannt; der letztere ist erloschen, der andere ist der höchste tätige Vulkan. Trotz ihrer Höhe machen beide Berge durchaus keinen großartigen Eindruck, da sie sich so allmählich erheben, daß ihre Besteigung drei volle Tage Ritt und Wanderung beansprucht. Die Krateröffnung des Mauna Loa, von den Eingeborenen Mokuaweoweo genannt, ist so geräumig, daß fast ganz Berlin darin Platz finden könnte. Der Boden ist anscheinend nur von einer dünnen Lavadecke bekleidet, aus der an zahlreichen Stellen Dampfmassen und kleine Lavamassen emporringen. Im Jahre 1866 ereignete sich ein gewaltiger Ausbruch. Ohne auffällige Vorzeichen entstand plötzlich in 3000 m Höhe ein neuer Krater, aus dem sich gewaltige Lavamassen ergossen.

Ein Nebenvulkan des Mauna Loa ist der nur 1200 m hohe Kilauea, dessen Krater, Halewauwau genannt, bis vor einigen Jahrzehnten eine der größten Sehenswürdigkeiten der Erde war. In dem primären Krater, der eine Peripherie von 12 km Länge aufweist, liegt 150 m tiefer ein sekundäres Becken. In dessen Mitte befindet sich als tertiärer Krater ein fast kreisrunder See, der in früherer Zeit von glühendem Gestein erfüllt war. Am Tage sah die Oberfläche dieses Feuersees im Sonnenschein hell wie Schlamm aus. Hin und wieder sah man aus ihr,

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 171. Der Graf Götzen-Krater des Ninagongo, südl. des Ruwenzori.
Das Innere des Kraters hat 1250 m Durchmesser bei 150 m Tiefe und weist zwei runde, miteinander verbundene Auswurfslöcher mit senkrechten Wandungen auf.



Ausbruch des Vesuvs im August 1872.
(Nach alten Photographien und Zeichnungen gemalt von Hans Steiner)

Technophot. Archiv, Berlin.

Abb. 172. Nachtaufnahme des Halewauwau-Kraters, Kilauea auf Hawai.

rot wie Siegellack, kleine Sprudel glühenden Gesteins herausspritzen. Bei Nacht aber war der Anblick unbeschreiblich schön und grausig. Über die Oberfläche des Beckens zog sich ein Maschenwerk glühender Spalten, aus denen das Magma in hohen Kaskaden und Fontänen herausprudelte. Die fortschreitende Abkühlung hat das Schauspiel beendigt, die Oberfläche des Sees ist jetzt mit einer festen Lavaschicht zugedeckt (Abb. 172).

Ohne Rücksicht auf die Art ihrer Auswürflinge hat man die Vulkane lediglich ihrem Aufbau nach in *einfache* und *zusammengesetzte* eingeteilt. Die ersteren bestehen aus einem einzigen Kegel, wie etwa der gewaltige Ätna, die zusammengesetzten besitzen dagegen stets einen *Ringwall*, der sich als Rest eines alten Kraterrandes um den jetzt tätigen Kraterberg herumlegt. Dieser Ringwall ist nun allerdings selten in seiner ursprünglichen Ausbildung erhalten; das Wasser der Eruptionen und der atmosphärischen Regengüsse hat ihn in einzelne Stücke aufgelöst, wie man an der Somma des Vesuvs, einem alten Ringwall, deutlich beobachten kann (Abb. 174). Wenn die Laven des Ringwalles eine andere petrographische Beschaffenheit als diejenigen des jüngeren Innenkraters haben, muß man eine längere Ruhepause zwischen der Bildung beider annehmen. Durch eine gewaltige Explosion wurde die Kuppe des ursprünglichen Kegels hinweggeblasen und in dem dadurch entstehenden Kessel — den man Caldera nennt — baute sich dann der neue Kegel auf. Manche besonders große Calderen mögen auch durch Einbruch entstanden sein, so die 20 km breite Caldera des wundervollen Piks von Teneriffa, dessen Schönheit Alexander v. *Humboldt* unübertrefflich geschildert hat.

Allerdings muß man berücksichtigen, daß selten ein einziger Schlot, sondern meistens ein ganzes System von Röhren das Magma nach der Erdoberfläche leitet, wodurch die flächenhafte Wirkung der Explosion eher erklärlich wird. Mitunter nähern sich einzelne Schlote der Oberfläche des Kegels schon vor seinem Gipfel und brechen seitlich aus, wodurch am Gehänge kleinere Schmarotzer- oder Parasitärkegel entstehen, die den eigentlichen Vulkan kranzförmig umgeben. Am Ätna hat man über 200 solcher Nebenkrater gezählt, die eine Höhe von mehr als hundert Metern erreichen können und oftmals ihre eigenen Eruptionen aufweisen, wenn sie auch durch ein ausgebreitetes Spaltensystem mit dem Hauptkrater in Verbindung stehen (Abb. 173).

Ein recht schwieriges Problem ist die Höhenbestimmung der Vulkane. Friedliche Tätigkeit bedingt eine allmähliche Erhöhung; was aber Jahrhunderte an solcher aufbauender Kleinarbeit geleistet haben, kann eine einzige Eruption wieder zerstören. So war, um ein Beispiel zu nennen, der Papandajang auf der Insel Java rund 2700 m hoch; die Explosion des Jahres 1872 erniedrigte ihn mit einem Male um volle 1300 m. Aber auch abgesehen von den durch die eruptive Tätigkeit bedingten Schwankungen können die Vulkane auch deshalb nur selten genau gemessen werden, weil sie einmal auf Gebirgen, ein anderes Mal auf dem Meeresboden aufgesetzt sind. Namentlich bei den letzteren muß man die wirkliche Höhe von der Erhebung über dem Meeresspiegel streng unterscheiden. Einige Zahlen über die absolute und relative Höhe von Vulkanen mögen dies erläutern.

Name	Höhe über Meeresspiegel	Höhe eigentliche
Mte. Nuovo	130	130
Stromboli	926	3200
Vesuv	1300	1300
Ätna	3330	2900
Mauna Loa	4170	—
Popocatepetl	5450	—
Cotopaxi	5950	2800

Wir wollen nun die Ausbruchstätigkeit der Vulkane selbst etwas genauer ins Auge fassen. Es gibt heutzutage nur noch wenige Vulkane, die in Tätigkeit sind; die allermeisten sind längst erloschen. Oder vorsichtiger ausgedrückt: sie sind schon so lange nicht tätig gewesen, daß wir sie für erloschen ansehen. Denn schon manchmal hat sich ein scheinbar erloschener Vulkan seiner stürmischen Vergangenheit erinnert und von neuem Tod und Verderben über die Menschheit ausgeschüttet. Die alten Römer glaubten auch nicht, daß sie am Vesuv auf so unsicherem Boden säßen. Dieser Vulkan war damals ein schönbelaubter Berg mit üppigen Weingärten, und auf seinem seltsam eingesenkten Gipfel weideten Herden von Schafen und Ziegen. Da geschah der grauenvolle Ausbruch des Jahres 79 n. Chr.; seit dieser Zeit ist der Vesuv — mit Ausnahme einer Pause zwischen dem 14. und 17. Jahrhundert — dauernd in Tätigkeit geblieben.

Von der Katastrophe des Jahres 79, der drei blühende Städte, Herkulanum, Pompeji und Stabiä, zum Opfer fielen, wissen wir Genaueres aus einem Brief

des jüngeren Plinius, der das Naturereignis von der gegenüberliegenden Seite des Golfes von Neapel aus beobachtete. Seine Worte geben so recht die Angst der betroffenen Menschen wieder:

„Schon fiel Asche, aber erst spärlich. Als ich mich umsah, kam von rückwärts dichtes Dunkel heran, das uns in einem breiten Strom nacheilte. Gehen wir zur Seite, sagte ich, solange wir noch etwas sehen, damit wir nicht auf dem Wege fallen und von den Flüchtlingen zertreten werden. Kaum hatten wir uns niedergesetzt, da brach das Dunkel herein, nicht wie in einer mondlosen, wolkigen Nacht, sondern wie in einem rings verschlossenen Raume ohne Licht. Nun hörte man das Klagen der Frauen, das Schreien der Kinder, das Rufen der Männer; die

Abb. 173. Zwei Seiten- (Parasitär-) Kegel des Ätna im Jahre 1892.

einen riefen nach ihren Eltern, andere nach ihren Gatten; die einen bejammerten ihr eigenes Unglück, die anderen das der Ihrigen; manche baten in ihrer Todesangst um den Tod. Viele flehten auch zu den Göttern, mehrere aber meinten, es gäbe keine Götter mehr, und es sei die letzte, ewige Nacht für die Welt gekommen."

Nicht feurige Lava, nicht stürzende Blöcke vernichteten damals die drei Städte, sondern allein der dichte Aschenregen, der aus der dunklen Wolke herabbrauste. Mit dem Wasserdampf der Eruption vermischte er sich zu einem zähen Brei, der Häuser, Gärten und alles lebende und tote Inventar zudeckte und begrub. Als dann nach 1800 Jahren die Forscher nachgruben, fanden sie alles wieder; die Asche hatte getreulich bewahrt, was sonst im Laufe der Zeiten spurlos verloren gegangen wäre. Und waren auch die Körper der Menschen längst verwest, so hatte doch der erkaltende Aschenschlamm ihre Formen erhalten. Goß man die Hohlräume mit Gips aus, so erhielt man Gipsmodelle, die beredter von den Qualen der jäh Dahingerafften zu berichten wissen als es die getreueste Schilderung vermocht hätte (Abb. 174).

Über die Eruption des Jahres 1794 hat Leopold v. Buch einen klassischen Bericht geliefert, der alle Erscheinungen eines Ausbruches von Anfang bis zu Ende schildert (Tafel XIII).

„Unter den vielen Ausbrüchen des Vesuvs sind nur zwei bekannt, denen die Eruption von 1794 an furchtbarer Größe weicht. Durch die erstere von diesen wurden das reiche Herkulanum und die Seestadt Pompeji zerstört und dem Meer neue Grenzen bestimmt. Die zweite, im Jahre 1631, stürzte fast unzählbare Feuerströme über die in Menge um den Fuß des Vulkans gelagerten Ortschaften. In neueren Zeiten hat der Vulkan fast jährlich neue und große Phänomene gezeigt, und es lebte in der Gegend fast niemand, der nicht die Verwüstungen mehrerer Ausbrüche selbst empfunden und beobachtet hätte. Und doch konnte eine zweijährige Ruhe des Berges, in der sein Gipfel auch nicht einmal dampfte, die Bewohner in so große Sorglosigkeit stürzen, daß sie den Vulkan auch dann noch gänzlich vergaßen, als sie am 12. Juni um $11^1/_2$ Uhr in der Nacht plötzlich ein heftiges Erdbeben aufschreckte.

Der Boden in der ganzen Ebene Kampaniens schwankte wie flüssige Wellen von Morgen nach Abend. Die Neapolitaner stürzten aus den Häusern auf die großen Plätze des Palazzo Reale, del Mercato, delle Pique. Sie glaubten im nächsten Augenblicke ihre Häuser zu Boden geworfen, und angstvoll erwarteten sie im Freien den Morgen, Kalabriens Schicksal befürchtend. Als ihnen aber die Sonne hell aufging und sie den Vulkan in der gewohnten Ruhe erblickten, glaubten sie den Ruin der südlichen Provinzen des Reiches befürchten zu müssen und leiteten von dorther die Erscheinungen der vergangenen Nacht. Aber nicht lange währte dieser Irrtum. Drei Tage darauf, am 15. Juni, um 11 Uhr in der Nacht, erbebte die Erde von neuem; es war nicht mehr ein wellenförmiges Schwanken wie vorher, es war ein unregelmäßiger Stoß, der die Gebäude zerriß, die Fenster klirrend erschütterte und gewaltsam die inneren Gerätschaften durcheinanderstürzte. Und sogleich erhellten rote Flammen und glühende Dämpfe den Himmel.

Der Vesuv war am Fuße des Kegels geborsten, und von den Dächern der Häuser sah man die Lava im Bogen hervorspringen. Fortwährend hörte man einen dumpfen, aber heftigen Lärm, wie den Katarakt eines Flusses in eine tiefe Höhle hinab, unaufhörlich schwankte der Berg, und eine Viertelstunde darauf hörte auch in der Stadt nicht mehr die Erschütterung auf. Mit solcher Wut hatte man die Lava noch nie hervorbrechen sehen. Das reizbare Volk, das sich nicht mehr auf festem Boden wähnte, die Luft voll Flammen erblickte und schreckliche, nie gehörte Töne vernahm, stürzte, von Furcht und Schrecken ergriffen, zu den Füßen der Heiligen in Kapellen und Kirchen, griff nach Kreuzen und Bildern, und durchzog heulend die Stadt in wilder Verwirrung. Der Berg achtete ihres Angstschreies nicht, es sprangen immer neue Öffnungen auf, und mit gleichem Lärme und mit gleicher Gewalt stürzte daraus die Lava hervor. Rauch, Flammen, Dampf erhoben sich zu ungeheuren Höhen jenseits der Wolken und verbreiteten sich dann auf den Seiten in Form einer unermeßlichen Pinie, wie zu Plinius' Zeiten.

Nach Mitternacht verlor sich dieses unausgesetzte, fürchterlich dumpfe Getöse, mit ihm die stete Erschütterung und das Schwanken des Berges; die Lava brach jetzt stoßweise aus den Öffnungen hervor, aber in schnell hintereinander sich folgenden

Abb. 174. Blick auf Pompeji und den Vesuv mit Somma.

Stößen mit donnerähnlichem Knall. Die so gewaltsam und tobend hervorstoßenden elastischen Mächte schleuderten unzählige große Felsstücke zu erstaunlicher Höhe hinauf in die Luft, und neue Flammen und schwarze Rauchwolken folgten diesen zertrümmerten Felsen.

Nach und nach folgten die Stöße seltener aufeinander, aber ihre Kraft verdoppelte sich, und zuletzt schien der ganze Berg nur eine Batterie zugleich abgeschossener Artilleriestücke zu sein. Und während dieses gewaltsamen Donners, schon nach Mitternacht, sah man auch die jenseits des Vulkans gelegene Atmosphäre erleuchtet. Die Lava, ungeachtet der Verwüstungen auf dieser Seite, sprengte auch den jenseitigen Abhang noch tiefer am Berge herab und weiter vom Gipfel, und stürzte mit Gewalt aus der Öffnung in eine weite Schlucht, welche schon ältere Laven verwüstet hatten, gegen Mauro hinab. Sie wütete in den Waldungen am Ausgange des Tales, verbreitete sich auf der weniger sich neigenden Fläche, fing dann langsamer zu fließen an, und nach drei Tagen erstarrte sie gänzlich, ohne Wohnungen erreichen zu können.

Nicht so die donnernde Lava gegen Neapel. Sie stürzte mächtig und schnell vom Abhange herab. Jede Explosion aus den Kratern drängte eine neue Masse von Lava herauf, die, sich dem Strom zuwerfend, ihm neue Kraft und Stärke zu geben schien. Die Hälfte der Einwohner von Resina, Portici, Torre del Greco starrte mit fürchterlich ängstlicher Erwartung auf jede kleine Bewegung des Feuerstroms,

dessen Richtung bald diesen, bald jenen Ort zu bedrohen schien; die andere Hälfte lag hingeworfen vor den Altären, sich Rettung vor der schrecklichen Lava zu erflehen. Plötzlich richtete die ganze Masse ihren Lauf genau auf Resina und Portici zu. Alles Lebendige in Torre del Greco stürzte in die Kirchen, dem Himmel für die geträumte Rettung zu danken; in ihrer unmäßigen Freude vergaßen sie den dann notwendigen Untergang ihrer Nachbarn. Aber ein tiefer Graben stellte sich dem Lauf der Lava entgegen, sie folgte seiner Richtung, und er öffnete sich auf der Höhe über das unglückliche, sich gerettet glaubende Torre del Greco. Mit neuer Wut fällt der Strom den steileren Abhang hinab. Er trennt sich nicht mehr, und mit 2000 Fuß

Abb. 175. Beginn der Aschenruption auf der Insel Vulcano im Jahre 1888.

Breite erreicht er die blühende Stadt. Im nächsten Augenblicke suchen 1800 Menschen Schutz auf dem Meere. Noch ehe sie das Ufer verlassen, sehen sie über den eingestürzten Dächern der Häuser aus der Mitte der Lava hervor sich dicke, schwarze Rauchsäulen erheben und große Flammen wie Blitze. Paläste und Kirchen stürzen krachend zusammen, und fürchterlich donnert dazwischen der Berg.

Um 11 Uhr in der Nacht brach die Lava aus dem Inneren hervor, und um 5 Uhr morgens war Torre del Greco nicht mehr. In sechs Stunden hatte die glühende Masse vier italienische Meilen durchlaufen, eine noch nie erhörte Geschwindigkeit in der Geschichte des Berges. Das große Meer vermochte es kaum, der Lava Grenzen zu setzen. Mächtig wälzte sich der obere Teil, indem der untere im Wasser erstarrte, über den erkalteten weg. Weit umher siedete das Wasser, und gekochte Fische in unzähliger Menge bedeckten die Fläche.

Mitten unter diesen Verwüstungen brach der neue Tag an. Man sah die aus dem Krater sich hebenden Flammen nicht mehr, aber auch den Berg nicht. Eine schwarze, fest scheinende Wolke lagerte sich um ihn herum und verbreitete sich nach

und nach wie ein finsterer Flor über den Golf und das Meer. Unaufhörlich fiel in Neapel und in der ganzen Gegend ein feiner Aschenregen herab und bedeckte alle Pflanzen und Bäume, alle Häuser und Straßen. Die Sonne erhob sich strahlenlos und ohne Glanz; und kaum war die Helle des Tages dem schwachen Licht der Morgen-

Abb. 176. Lavastrom und Eruption des Vesuvs bei Nacht.

röte vergleichbar. Ein unbedeckter Streifen am äußersten westlichen Horizont ließ doppelt die Menschen empfinden, wie sie in Finsternis eingehüllt waren. Diese fürchterlich traurige Erscheinung vermochten die Neapolitaner nicht zu ertragen. Alle überfiel eine ängstlich-düstere Schwermut, und in ununterbrochen fortgesetzten Prozessionen suchten sie den erzürnten Himmel wieder zu besänftigen. Es war nicht mehr das leicht empfängliche Volk, das lärmend mit den Kreuzen die Straßen durchstürzte. Die vornehmsten Familien schlossen sich dem feierlichen Zuge der

Prozession an und folgten seufzend und still in langer Reihe dem Kreuze durch die Finsternis nach.

Die Asche fiel um so stärker und häufiger, je näher am Berge. Als sie eine Linie hoch die Straßen Neapels bedeckte, lagen fünf Linien in Portici, neun Linien in Resina und fünfzehn Linien in der Nähe der Lava. In Neapel war es schwarzer feiner Staub, näher dem Vulkan zu ein feiner Sand mit erkennbaren Teilen, und auf dem Vesuv waren Lapilli, kleine Steintrümmer, gefallen.

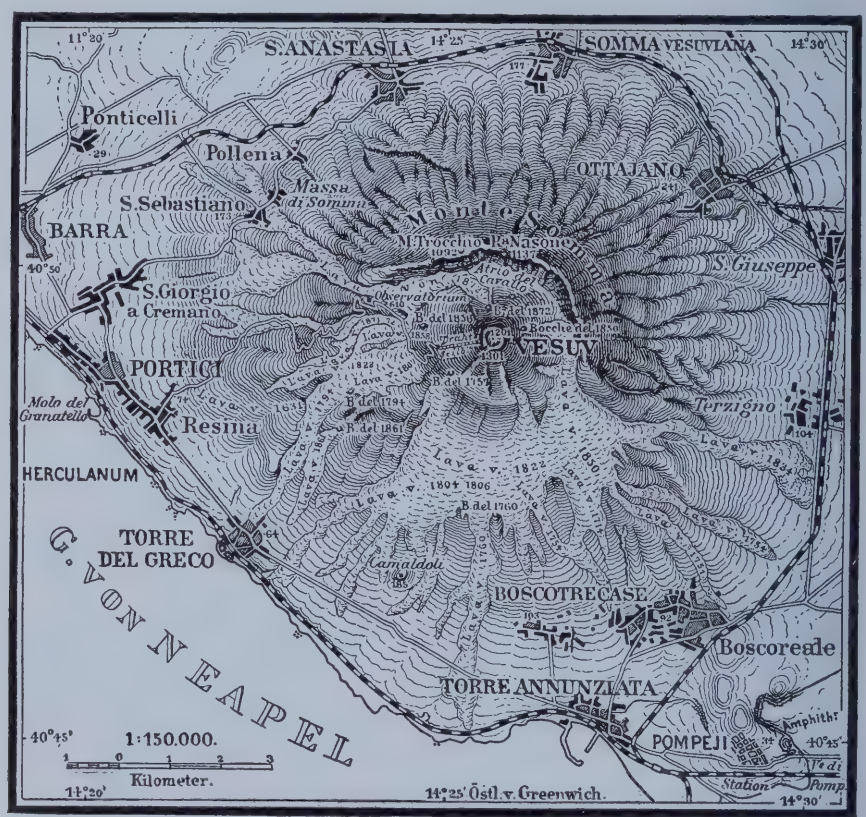


Abb. 177. Karte des Vesuvgebietes mit den Lavaströmen der einzelnen größeren Ausbrüche.

Die Lava selbst bewegte sich noch, aber langsam und nur am äußeren Ende bemerkbar. Eine harte, erstarrte Rinde bedeckte den Strom, und die Oberfläche dieser glühenden Masse erkaltete so schnell, daß 12 Stunden nach Zerstörung der Stadt viele ihrer unglücklichen Einwohner es wagten, schnell gegen ihre zerstörten Wohnungen zu eilen, um der Lava das Wenige zu entreißen, was sie verschont haben konnte. Ja, man war sogar glücklich genug, auf diesem Weg mehrere Personen zu retten, welche, in einem Kloster verschlossen, die jenseits der Lava Geretteten bis dahin vergebens um Hilfe angefleht hatten. An vielen Orten war die Lava geborsten; aus deren Inneren erhob sich ein heftiger, widriger, kochsalzgesäuerter Dampf, und man sah helleuchtende Flammen zu beiden Seiten der Spalten. Man hörte ein unaufhörliches, entfernt scheinendes Donnern, und schnelle Blitze in schwarzem,

vom Berge sich herabwälzendem Regen erhellten die finstere Nacht. Man sah, daß diese gewaltige Masse aus dem großen Krater auf dem Gipfel des Berges hervorgewälzt wurde. Man sah, wie sich eine ungeheure, dichte, rundgestaltete Wolke aus dem Inneren erhob, wie sie sich aufzublähen schien, je höher sie stieg. Große, zu schwere Felsstücke fielen in fortgesetztem Regen senkrecht von ihren Rändern wieder in den Abgrund hinab. Eine neue Wolke folgte der ersten schnell in gleicher Erscheinung, und so unzählige hintereinander bis zu unabsehbaren Höhen. Ein großer, erhabener Anblick! Oft schien der Berg wie mit einer Krone von Wolken bedeckt. Nach und nach lösten sie sich auf, die größeren Stücke fielen senkrecht herab und rollten am Abhang des Kegels herunter; die feinere Asche entführte der Wind und zerstreute sie über das Land. Wenige Stunden darauf hatte die Asche wieder den ganzen Himmel bedeckt, und Tag und Nacht waren, wie vorher, durch keine Grenze geschieden.

Man hatte am Tage einige schwache Erschütterungen bemerkt. In der Nacht um 2 Uhr, am 18., erschreckte ein neuer heftiger Stoß die durch das Furchtbare der vorigen Tage für kleine Phänomene nicht mehr empfänglichen Menschen. Man empfand ihn vorzüglich in Portici, Resina und anderen, dem Berge nahegelegenen Orten. Und beim Anbruche des weniger durch die Asche verhüllten Tages sah man mit Erstaunen, daß der Gipfel des Vulkans eingestürzt war; statt der vorigen Spitze sah man ihn schief abgestumpft gegen das Meer. Die unaufhörlichen Aschenausbrüche hatten so das Innere des Berges erschöpft, daß er den Gipfel nicht mehr zu unterstützen vermochte. Die ganze Masse fiel im Krater zusammen. Aber diese imposante Erscheinung beendigte den finsteren Aschenregen nicht. Wenn auch in Neapel und Portici und der nahen Gegend umher weniger Asche fiel als an den vorigen Tagen, und das matte rötliche Bild der Sonne mehrere Stunden lang sich durch den Staub in der Luft zeigte, so litten dagegen doppelt die Orte ostwärts des Berges. Ein heftiger Ostwind führte die aus dem Krater sich heraufhebende Masse von der Meerseite weg, und mit doppelter Wut stürzte sie auf Somma, Ottajano, Mola, Caserta herab. Bis in das Apenningebirge hinein war tiefe Nacht. Der ganze Vesuv schien sich in Staub herabstürzen zu wollen. Wolkenbrüche vermischten sich mit der Asche, und die Masse fiel wie ein zäher Teig über die Gegend. Fest umgab er die zartesten Zweige der Pflanzen und Bäume, und alle Pflanzungen dieses fruchtbaren Striches erlagen unter der unerträglichen Last. Viele Dächer in den Orten stürzten zusammen, und die Einwohner sahen sich genötigt, ihr Leben durch schnelle Flucht in das Gebirge zu retten.

Und wirklich hatte man Ursache, ein noch grausameres Schicksal zu fürchten. Denn während der Schlamm und die Asche den 18. und 19. in einer für die Helle des Tages fast undurchdringlichen Dichte sich herabsenkten, stürzten reißende Wasserströme vom jähen Abhange des Berges hinab. Mit grenzenloser Gewalt rissen sie Berge von Steinen und Bäumen mit sich fort und bedeckten mit großen Felsmassen die Ebene. Nur allein in der Nacht vom 20. Juni wälzten sich fünf solcher Ströme vom Berge, und dreimal im Laufe des Tages erneuerte sich diese verwüstende Erscheinung, und das letztemal mit doppelter Stärke und Kraft. Die ganze den Vesuv umgebende Landschaft ward durch diese Regen verheert; jede kleine Wolke schien mit Macht gegen die Spitze des Berges gezogen, und kaum hatte sie den Gipfel

Phot. The Keystone View Co.

Abb. 178. Der Krater des japanischen Vulkans Asosan, 24 km im größten Durchmesser. Er ist von senkrechten Wänden eingerahmt und trotz stellenweiser eruptiver Tätigkeit mit Feldern und dichtbevölkerten Dörfern besetzt.

umgeben, als auch schon die Wasser herunterstürzten, Wälder, Straßen, Brücken zerrissen und Häuser und Felder zerstörten. Von allen Seiten lebten die unglücklichen Menschen in beständiger Todesangst, und waren fortdauernd genötigt, sich zur schnellen Flucht zu bereiten. Indessen verminderte sich allmählich die Menge der ausgeworfenen Asche. Man sah jetzt mit ihr sich große Dampfwolken aus dem Krater erheben, die in der Luft sich zerstreuten. Doch wurden die Nächte in Neapel noch fortwährend von der unzähligen Menge glänzender Blitze erleuchtet, die sich aus der Aschenwolke unaufhörlich herabstürzten. Ein starker, aber nicht rollender Donner begleitete sie, und daraus erklärte sich das noch mehrtägige fortgesetzte Getöse vom Berge.

Am 24. und noch mehr am 26. fiel wieder mehr Asche auf die Seite gegen Neapel, aber als die Einwohner sie erblickten, erhoben sie ein Freudengeschrei;

denn sie war nicht mehr dunkelgrau oder schwarz wie bisher, sondern hellgrau, und zuletzt beinahe ganz weiß. Die Erfahrung aller Eruptionen hatte gelehrt, daß dies der letzte Bodensatz im gärenden Innern des Berges sei, und daß mit ihm die ganze Eruption gewöhnlich endige. Und man betrog sich auch diesmal nicht. Von nun an rauchte der Vesuv fast nur allein. Asche fiel nur noch an einigen Tagen, und seit dem 8. Juli kehrte Heiterkeit in das glückliche Klima Neapels zurück. Schon erhob sich wieder Torre del Greco durch den rastlosen Fleiß der zurückgekehrten Einwohner. Tausende waren auf den Feldern zerstreut, die Blätter und Zweige der Bäume und Reben von der alles bedeckenden Asche zu säubern. In Neapel strömten aufs neue die Menschen den wieder eröffneten Schauspielen zu, und wie vorher versammelten die Späße des Pulcinells die geschäftslose Menge an den Ecken der Straßen."

Abb. 179. Vulkanische Bombe mit gedrehten Enden von Cinder Buttes, Idaho.

Außer der Asche werden bei jeder Eruption auch Steine und Blöcke mit ausgeworfen. Merkalli fand am Vesuv Auswürflinge von 600 Zentnern Gewicht. Meistens sind es indessen kleinere Trümmer, die Lapilli, welche, je kleiner, um so höher emporgeschleudert werden. Da sie während ihrer Reise durch die Luft noch weich sind, nehmen sie eine länglich-elliptische oder gedrehte Form an, die durch die schnelle Bewegung bedingt ist. Ihre Oberfläche überzieht sich bei rascher Abkühlung mit einer glänzenden Lackschicht, wie wir sie bei Meteoren kennengelernt haben (Abb. 179).

Nicht immer vollziehen sich die vulkanischen Erscheinungen so geordnet wie am Vesuv, vielmehr können sie sich auch auf eine einzige Explosion beschränken, die allerdings in ihren Wirkungen noch weit verheerender zu sein pflegt. Ein großartiges, grausiges Beispiel hierfür bietet die Katastrophe auf der Insel Krakatau in der Sundastraße.

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 180. Blocklava auf Island.

Bereits einige Monate vor dem eigentlichen Ausbruch bemerkte ein deutsches Kriegsschiff über der unbewohnten Insel eine Pinienwolke, deren Höhe sich auf 11000 m bemaß. Am 26. August 1883 begann dann die gewaltige Katastrophe: ungeheuere Massen von Asche fielen nieder, die Atmosphäre war mit Elektrizität überladen. Am frühen Morgen des folgenden Tages breitete sich tiefe Finsternis über die Insel aus; sie währte 18 Stunden lang. Die Sundastraße wurde inzwischen mit Bimssteinen und kleinen Lavafetzen überschüttet. Plötzlich geschah eine gewaltige Explosion. Fast die gesamte Hauptinsel wurde unter einem furchtbaren unterirdischen Donner teils in die Luft gesprengt, teils in die Fluten versenkt. Eine turmhohe Flutwelle eilte weiter: auf den Inseln Sebesie und Seramy blieb kein Bewohner am Leben, viele Menschen fanden den Tod in den Wellen. Von der alten, 33 qkm großen Insel Krakatau war nach der Katastrophe kaum mehr die Hälfte übrig; an Stelle des früheren Landes brandete eine 300 m tiefe See. Der Donner der Explosion war in einem Umkreis hörbar, der den 15. Teil der gesamten Erdoberfläche ausmacht. Dächte man sich den Krakatau nach Wien versetzt, so wäre die Explosion also nicht nur in ganz Europa vernommen worden, sondern auch im Osten Grönlands, im Süden Spitzbergens, im Ural, auf dem Kaspisee, am Roten Meer, im Hauptteil der Sahara und auf Madeira.

Die Asche des Krakatau fiel auf ein Areal nieder, größer als Deutschland, die feinsten Stäubchen wurden so hoch emporgeschleudert, daß sie lange Zeit in der Atmosphäre schweben blieben und sich über die ganze Erde verteilten. Gegen Ende November 1883 verursachten sie sogar in Deutschland seltsame Dämmerungserscheinungen, wenn die Strahlen der untergehenden Sonne an den Partikelchen gebrochen wurden.

Phot. Sismey.

Abb. 181. Fladenlava am Rande des Kraters Kilauea.

Ganz ähnlich verlief auch der Ausbruch des Mt. Pelé auf der westindischen Insel Martinique im Jahre 1902. War hier die Explosion auch nicht so mächtig wie beim Krakatau, so handelte es sich diesmal um dichtbevölkerte Fluren, die heimgesucht wurden. In kaum einer Minute wurden 40000 Menschenleben vernichtet.

Schon zwei Wochen vor dem Hauptausbruch war der Vulkan tätig gewesen. Die Eruptionen nahmen an Gewalt immer mehr zu; einige Ortschaften wurden von Strömen kochenden Wassers, das aus Spalten hervordrang, überschwemmt. Trotzdem blieben die Einwohner von St. Pierre, der Hauptstadt Martiniques, in ihren Häusern, beruhigt durch die Versicherung ihres Gouverneurs, die Stadt sei „durch den Mont Pelé nicht mehr gefährdet als etwa Neapel durch den Vesuv."

Am 7. Mai fing der Berg stärker zu toben an; gewaltige Dampfwolken umhüllten seinen Gipfel. Am nächsten Tage setzte dann die Katastrophe ein, die mit der vollständigen Zerstörung der Stadt endigte.

Ein Augenzeuge aus dem benachbarten Corbet schildert sie mit knappen Worten. „Eine ungeheuere, feuerschwangere Öffnung hat sich aufgetan. Von ihr ge-

boren, scheint eine riesengroße schwarze Wand, aus der Tausende von Blitzen zucken, sich mit furchtbarer Gewalt uns entgegenzustürzen. Von dem Himmel ist nichts mehr zu sehen; Flammen umgeben uns von allen Seiten. Und ein brüllendes, stampfendes Donnern begleitet den Todesmarsch dieser entsetzlichen Erscheinung. Wir sind verloren! . . . Aber plötzlich vollzieht sich eine unerwartete Wendung. Ein starker Wind kommt auf, ein wahrer Orkan. Die Bäume werden von ihm gegen den Boden gebogen. Brausend und pfeifend prallt er gegen die von Blitzen durchzuckte Rauchwand und hält sie 300 m von uns entfernt auf . . . wir sind gerettet. Nur 30 Sekunden

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 182. Schlacken- und Wulstlava am Ätna.

waren verstrichen — 30 Sekunden, die uns wie ein Tag der Angst erschienen. Der Wind nimmt allmählich ab und hört in drei bis vier Minuten ganz auf. St. Pierre aber ist zugrunde gegangen. Wo einst das Leben herrschte, gibt es jetzt nur rauchende, stürzende Trümmer" (Tafel XIV).

Von der gesamten Einwohnerschaft der Stadt retteten nur zwei ihr Leben. Ein Schuster in seiner engen Werkstatt und ein Verbrecher in der fast luftdicht abgeschlossenen Gefängniszelle fanden Schutz vor den giftigen Gasen und dem Feuer.

Bei der großen Mehrzahl der Vulkane hat die Lava den Hauptanteil an der Eruption. Lava ist, petrographisch gesprochen, ein glühender, mit Gasen reichlich durchsetzter Brei von Silikaten, vergleichbar also dem Glasfluß, wie er in den Glashütten zubereitet wird. Sobald sie aus der Krateröffnung herausgetreten ist, fließt sie den Bergabhang hinab, wobei ihre Geschwindigkeit ebenso vom Böschungswinkel des Berges, wie von ihrer eigenen Konsistenz abhängt. Die sehr

dünnflüssige Lava des Mauna Loa schoß wie Wasser in Fontänen empor und erreichte, abwärts fließend, einmal eine Geschwindigkeit von 30 km in der Stunde. Je weiter sie sich entfernt, um so langsamer wird ihr Lauf, da infolge der fortschreitenden Abkühlung sich feste Lavabrocken hindernd in den Weg stellen. Die Temperatur der glühflüssigen Lava ist auf rund 1100° bestimmt worden.

Aus dem Lavastrom steigen nun beständig Gas- und Dampfblasen auf, die den Gesteinsbrei zu Pusteln und Blasen emporwirbeln, ja, bisweilen auch zu Schlackenschornsteinen kegelförmig auftreiben. Enthält die Lava sehr viel Gase, so zer-

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 183. Lavakaskade am Kilauea auf Java.
Die dünnflüssige Lava ist wie Brei an dem Hang herabgeflossen.

springt sie beim Erkalten in einzelne scharfkantige Trümmer als sog. Blocklava; ist sie gasarm, so erstarrt sie als Fladenlava zu einem schönen Schmelzfluß (Abb. 180 bis 183).

Auch wenn die vulkanischen Gewalten zur Ruhe gekommen sind, lassen sich noch manche Spuren ihrer im Geheimen weitergehenden Tätigkeit verfolgen. Seit Menschengedenken treten aus der Solfatara von Pozzuoli am Golfe von Neapel Schwefeldämpfe aus, und in solchem Solfatarenzustand befinden sich zahlreiche Vulkane in den verschiedensten Gebieten der Erde, so der Pepandajang auf Java, der Popocatepetl in Mexiko und der Demawend im asiatischen Elbursgebirge: sie hauchen außer Wasserdampf und Kohlendioxyd vor allem Schwefelwasserstoff aus, aus dem sich dann der Schwefel absetzt.

Häufig wird auch nur Kohlendioxydgas abgegeben, so im Brohltal, wo es technisch nutzbar gemacht wird, in der Auvergne und in der berühmten Hundsgrotte

Abb. 184. Ein Schlammvulkan auf Island.

bei Neapel. In dieser schichtet sich das spezifisch schwere CO_2-Gas am Boden, aber nur bis zu einer Höhe von 1 m auf, so daß die Menschen zwar die reine Luft einatmen, Hunde aber in der giftigen CO_2-Atmosphäre ersticken.

Meist wird das Kohlendioxydgas von dem unterirdischen Wasser absorbiert, und dieses tritt nun als Säuerling ans Tageslicht. In der Eifel, in der Rhön, bei Koblenz und in anderen alten Vulkangebieten zeigen sich solche Sauerquellen als letztes, schwächstes Anzeichen vulkanischer Tätigkeit; in ihnen spendet die Naturkraft, die sonst nur Schrecken und Elend mit sich brachte, der Menschheit als letzte Gabe ein heilendes Agens.

Bei der kurzen Aufzählung der vulkanischen Nebenerscheinungen dürfen die Geiser nicht unerwähnt bleiben, wenn sie auch ebensogut bei den Quellen behandelt werden können.

Geiser sind heiße Quellen, die nicht fortdauernd, sondern nur zeitweise und in mehr oder weniger gleichmäßigen Zwischenräumen Wasser abgeben, das sie, mit Dampf untermischt, weit hinauf in die Luft spritzen. Diese explosionsartige Erscheinung setzt unvermittelt ein, um nach kurzer Dauer wieder aufzuhören. Geiser finden sich in drei alten Vulkangebieten der Erde: auf Island, im Yellowstonepark und auf Neuseeland (Abb. 186 und 187).

Der Große Geiser auf Island ist, wie die Mehrzahl seinesgleichen, von einer dicken Schicht aus Kieselsinter umgeben, die sich aus seinem Wasser abgesetzt hat. In diesen Kegel senkt sich ein flaches Becken mit einem Durchmesser von 17 m ein; es ist mit kristallklarem Wasser von 82° C Temperatur angefüllt. Vor dem Ausbruch beginnt das Wasser leise zu brodeln, dann spritzen große Dampfblasen plötzlich das Wasser mehrere Meter hoch empor. Dies geschieht ungefähr alle halben Stunden. Nach einer gewissen Zeit wird aber die verhältnismäßig ruhige Tätigkeit durch eine große Explosion unterbrochen. Unter donnerähnlichem Brausen wird das Wasser

Phot. Underwood & Underwood.

Der Ausbruch des Mont Pelé auf Martinique,
dem am 8. Mai 1902 die Stadt St. Pierre mit rund 40000 Einwohnern zum Opfer fiel.

in gewaltigen Strahlen, den Raketen eines Feuerwerkes vergleichbar, etwa 30 m emporgeworfen. Nach einigen Minuten hört dann die Erscheinung wieder auf, und das Wasser ruht wieder mit glattem Spiegel in dem Beckenrund.

Noch prachtvoller ist der Ausbruch des Excelsiorgeisers im Yellowstonepark (Abb. 186). Der ganze Inhalt des Beckens scheint hier donnernd und zischend als riesige, breite Fontäne in die Luft zu stürzen. Von der Sonne beleuchtet, läßt jeder Tropfen in buntem Farbenspiel ihr Licht zurückstrahlen, nicht mehr Tröpfchen heißen Wassers, sondern Diamanten und Edelsteine scheinen durch die Luft zu schwirren, bis nach einer knappen Viertelstunde alles wieder in dem Grund verschwindet.

Weitere, vielbesuchte Geiser des amerikanischen Nationalparks sind noch der Riese (Giant), der Bienenkorb (Beehive), der seine 70 m hohe Wassersäule aus einem zierlichen Kegelberg alle Tage einmal emporschießen läßt, und der „alte Getreue" (Old Faithful), so genannt, weil er fast mit der Genauigkeit einer Uhr alle 65 Minuten einen Strahl entsendet.

Die Erklärung für das Geiserphänomen hat schon der berühmte deutsche Chemiker Bunsen gegeben. Aus dem Becken führt eine Röhre in das Innere der Erde. Ist ein Ausbruch erfolgt, so fließt das stark abgekühlte Wasser durch die Röhre hindurch und sammelt sich in einem unterirdischen Reservoir an. Von seitlichen Spalten fließen diesem neue Wassermengen zu, und das Wasser wird nun von unten her allmählich angeheizt. Es nimmt in den unteren Schichten schließlich Temperaturen

Technophot. Archiv, Berlin.

Abb. 185. Der Anglerkegel im Yellowstone-See, ein Geiserbecken, in dessen kochendem Wasser man die Fische sieden kann, die man im See daneben gefangen hat.

von über 100° an, kommt aber trotzdem nicht zum Sieden, da eine hohe Wassersäule darauf ruht und der Siedepunkt mit zunehmendem Drucke steigt. Geht die Erhitzung weiter, so erreichen aber doch die mittleren Wasserschichten ihren Siedepunkt, während infolge der dauernden Wärmeausstrahlung an der Oberfläche die obersten Schichten niemals zum Sieden kommen können.

Abb. 186. Ein Geiser des Yellowstone-Parkes in Tätigkeit.

Wird nun in dem mittleren Teil der Röhre nach Erreichung des Siedepunktes Dampf erzeugt, so fängt dieser sofort an, das darüberliegende Wasser emporzutreiben. Dadurch wird auf Augenblicke die Belastung der unteren Schichten verringert; die gesamte überhitzte Wassermasse gerät sofort ins Kochen, und der entstehende Dampf schleudert das überlagernde Wasser in die Höhe (Abb. 186).

Zum Schlusse sei noch einiges über die geographische Verbreitung der Vulkane gesagt. Alexander v. Humboldt zählte insgesamt 225 Vulkane, die in geschichtlicher Zeit Ausbrüche gehabt hatten, und 182 erloschene Feuerberge. Mit fortschreitender Durchforschung der Erdoberfläche nahm aber die Anzahl der Vulkane wesentlich zu; an erloschenen kennt man allein mehrere Tausend, während Schneider zuletzt 367 Vulkane mit Ausbrüchen in historischer Zeit namhaft gemacht hat.

Untersucht man die Lage der Vulkane auf der Landkarte, so erkennt man, daß die Verteilung eine recht ungleichmäßige ist. Vulkanreichen Gebieten stehen solche gegenüber, in denen Feuerberge ganz selten sind oder überhaupt fehlen. Aber deutlich tritt der Umstand in die Erscheinung, daß die Hauptverbreitung der Vulkane in den Äquatorialgürtel fällt und daß die Vulkane entweder auf Inseln oder in der Nähe der Küsten gelegen sind. In dieser Anordnung bilden sie ganze Vulkanreihen, von denen zwei den Pazifik umgürten.

Phot. Iles.

Abb. 187. Der Waimangugeiser auf Neuseeland, dessen 80 m breitem Krater schwarzer kochender Schlamm und dichte dunkle Rauchwolken entströmen.

Die westpazifische Zone enthält in einer Gesamtlänge von 16000 km fast die Hälfte aller tätigen Vulkane; sie verläuft von Kamtschatka über Japan, die Philippinen, Salomonen nach Neuseeland und Viktorialand. Ein östlicher Seitenast erstreckt sich nach Samoa und den Tongainseln, ein westlicher über Java, Sumatra nach den Andamanen und Nikobaren.

Die ostpazifische Reihe ist lange nicht so zusammenhängend, sie weist gegen 100 Vulkane auf. Im Norden beginnt sie auf den Aleuten und in Alaska, springt dann nach Kalifornien über und setzt sich in Mexiko, Guatemala und in Nikaragua fort. In weiteren Teilstücken folgen sodann die Vulkangebiete von Ecuador, Bolivien, Argentinien und Feuerland. Nach Osten zweigt in der Breite von Mittelamerika ein Ast nach Westindien ab, ein westwärts abbiegender trifft erst in den Hawaiinseln auf festes Land.

Abb. 188. Reihenförmig angeordnete Vulkane auf Java.

Neben dieser zweigeteilten pazifischen Zone haben wir eine atlantische zu unterscheiden, die den Atlantik seiner ganzen Länge nach durchzieht. Sie beginnt auf Jan Mayen, geht über Island nach den Azoren und Kanarien, setzt sich in Ascension und St. Helena fort und endigt weit im Süden auf Tristan d'Acunha. Einer parallelen Nebenzone gehören die Vulkane Ostafrikas an, während ein Seitenast die Mittelmeervulkane umfaßt.

Diese großen Vulkanzonen sind nun zugleich Zonen geringer Widerstandsfähigkeit der Erdrinde, die durch Brüche und Spalten ausgezeichnet sind. Natürlich vermag das Magma auch ungestörte Schichten infolge der ihm innewohnenden lebendigen Kraft zu durchbrechen, es ist aber erklärlich, daß es Stellen, die infolge tektonischer Veränderungen weniger Widerstand leisteten, bevorzugt.

B. Die Erdbeben.

Neben den vulkanischen Erscheinungen sind die Erdbeben noch sichtbare Zeugnisse dafür, daß unser Planet doch nicht das feste und unverrückbare Gebilde ist, für das wir ihn im alltäglichen Leben ansehen. Es ist ein eigenartiges, unheimliches Gefühl, wenn plötzlich der Grund und Boden, auf dessen Festigkeit wir gebaut, in ein leichtes Schwanken gerät; mit einem Male ist unsere Zuversicht dahin und macht einer unerträglichen Beklemmung Platz. Denn das Erdbeben bringt Schrecken, Unheil und Tod mit sich und wirkt deshalb gewaltig auf die Menschheit ein. Die durch Beben hervorgerufenen Katastrophen übertreffen die vulkanischen bei weitem. Bei dem großen Erdbeben von Lissabon im Jahre 1755 kamen 60000 Menschen um, bei dem japanischen Beben von Osaka (1730) über 150000

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 189. Der Kratersee in Oregon.
Inmitten des wassererfüllten Außenkraters erhebt sich ein jüngerer Aschenkegel.

und bei der Katastrophe von Messina ebenfalls viele. Besonders verheerend sind die Beben, wenn sie Städte betreffen (S. Francisko 1906, Tokio 1924), deren Häuser die Bewohner unter ihren Trümmern begraben. Alexander v. Humboldt sagt mit Recht: „Das erste Erdbeben, welches wir empfinden, hinterläßt einen unaussprechlichen, tiefen und ganz eigentümlichen Eindruck. Was uns dabei so wundersam ergreift, ist besonders die Enttäuschung von dem eingeborenen Glauben an die Ruhe und Unbeweglichkeit des Starren, der festen Erdschichten. Von früher Kindheit sind wir an den Kontrast zwischen dem beweglichen Elemente des Wassers und der Unbeweglichkeit des Bodens gewöhnt, auf dem wir stehen. Alle Zeugnisse unserer Sinne haben diesen Glauben befestigt. Wenn nun plötzlich der Boden erbebt, so tritt geheimnisvoll eine unbekannte Naturmacht als das Starre bewegend, als etwas Handelndes auf. Ein Augenblick vernichtet die Illusion des ganzen früheren Lebens. Man traut gleichsam dem Boden nicht mehr, auf den man tritt."

Unter einem Erdbeben versteht man jede Erschütterung des Bodens, die ihre Ursache in Bewegungsvorgängen des Inneren der Erde hat. Ein stürzendes Haus, eine heftige Kanonade oder ein vorüberbrausender Schnellzug rufen also kein Erdbeben hervor, obgleich auch dabei die Erde bebt.

Die echten Erdbebenbewegungen werden nach ihrer Stärke in mikroseismische und makroseismische eingeteilt. Liegt der Erregungspunkt gerade unter dem Beobachter, sind die Bewegungen stoßend, sonst sind sie wellenförmig.

Ein französischer Forscher hat auf Grund zahlreicher statistischer Angaben festgestellt, daß alle 137 Minuten, also etwa alle $2^1/_4$ Stunden, irgendwo auf unserem Planeten der Erdboden durch ein Beben erschüttert wird. Wenn die

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 190. Der Popocatepetl, von den Rodillas aus gesehen.

Zahl, die sich daraus für die Spanne eines Jahres ergibt, auch recht hoch erscheint, so bleibt sie doch jedenfalls noch hinter der Wirklichkeit zurück, da uns große Gebiete unzugänglich sind. So kommt es auch, daß Europa, weil am besten bekannt, als der erdbebenreichste Erdteil erscheint.

Wenn wir ein Erdbebengebiet uns näher ansehen, erkennen wir sehr bald, daß es nicht gleichmäßig von Erschütterungen betroffen wird, sondern daß bebenarme Landstriche mit bebenreichen abwechseln. Die Bebenhäufigkeit hängt von recht verschiedenen Ursachen ab, vor allem von dem geologischen Aufbau der betreffenden Gegend und ihrer Gesteinsbeschaffenheit.

Deutschland ist durch recht zahlreiche Erdbebenerscheinungen ausgezeichnet, die aber glücklicherweise ziemlich schwach sind und deshalb harmlos verlaufen. Die einzelnen Landesteile zeigen bemerkenswerte Unterschiede: arm an Beben, vielleicht sogar ganz frei von ihnen, sind die großen Schotterebenen des norddeutschen Tieflandes und der bayerischen Hochebene sowie das gesamte deutsche Alpenland; erdbebenreich dagegen ist das sächsisch-böhmische Gebirgsland, und in diesem besonders das Vogtland. Hier steht der Boden eigentlich nie stille. Kleinere Schwankungen sind alle paar Tage, größere Beben aber wenigstens einmal im Jahre zu verzeichnen; ja, manchmal folgen die Erdstöße so schnell aufeinander, daß man von Erdbebenschwärmen sprechen kann. In Graslitz, am Südabhange des Erzgebirges, wurden beispielsweise in der kurzen Zeit vom 24. Oktober bis zum 25. November 1897 197 Stöße empfunden, also täglich im Durchschnitt 6—7. Auch der ganze Westen unseres Vaterlandes weist häufige Beben auf. Im Rheintal bringt uns fast jedes Jahr ein Erdbeben. Stoßmittelpunkte liegen bei Aachen und bei Groß-Gerau; größeren Umfang nahm ein Beben im Herbst 1911 an, dessen Ursprung bei Freiburg i. B. lag.

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 191. Wellenförmige Verbiegung eines Bahngleises, hervorgerufen durch das Erdbeben von San Franzisko.

Von den anderen europäischen Staaten ist Griechenland am bebenreichsten. Allein die Provinz Phokis wurde von 1870—73 durch ein furchtbares Schwarmbeben heimgesucht, bei dem zahlreiche Gebäude zerstört wurden. Die kleinen Zuckungen des Bodens empfand man schließlich schon gar nicht mehr; gab es doch Tage, an denen bis 29000 Einzelstöße, alle drei Sekunden einer, aufeinander folgten. Julius Schmidt, der das Erdbeben eine Zeitlang beobachtete, rechnet allein für die letzten fünf Monate des Jahres 1870 gegen 500000 Erschütterungen.

Überhaupt weisen sämtliche Balkanstaaten eine besondere Bebenhäufigkeit auf. Italien ist, wie uns Zeitungsnachrichten alle paar Monate beweisen, ebenfalls ein recht unruhiges Land. 34 mal wird im Jahresdurchschnitt die Oberfläche dieser Halbinsel erschüttert, und die feinen Instrumente zeichnen außerdem täglich zwei leichte Schwankungen auf, die für unsere Sinne nicht mehr wahrnehmbar sind. Uns allen ist noch in Erinnerung die grausige Katastrophe von Messina in der Dezembernacht des Jahres 1908, die viele Tausende dahinraffte und die eine blühende Großstadt in wenigen Minuten in einen wüsten Trümmerhaufen verwandelte.

Im übrigen Europa werden noch die nordischen Gebiete verhältnismäßig häufig erschüttert. In Skandinavien beispielsweise treten im Jahresdurchschnitt etwa 28 stärkere Beben auf. Belgien, Holland und das europäische Rußland werden dagegen nur selten von unterirdischen Stößen betroffen; sie stellen gewissermaßen Ruhepunkte zwischen den beweglichen Schollen dar.

Über die Verteilung auf den übrigen Festländern wissen wir begreiflicherweise nur ungenau Bescheid. In Asien sind es hauptsächlich die westlichen Teile (Klein-

Abb. 192. Spaltenbildung an der Marina von Messina, hervorgerufen durch das Erdbeben des Jahres 1908.

asien, Arabien), dann das Gebiet zwischen Indus und Ganges, Vorder- und Hinterindien und verschiedene Vulkaninseln Ozeaniens, die häufiger erschüttert werden. Das bebenreichste Land ist aber Japan. Schon die ganze Bauart der Häuser dieses Landes ist auf Erdbeben eingerichtet. Täglich zeigen Instrumente schwaches Zittern des Bodens an, aber auch gewaltige Erschütterungen mit grauenhaften Folgen sind hier an der Tagesordnung. Seit 415 nach Christi Geburt haben die Chroniken 223 verwüstende Erdbeben aufgezeichnet. Kleine Schwankungen beunruhigen deshalb das Volk gar nicht, wird doch die Hauptstadt alle paar Tage sanft aufgerüttelt. Bei dem letzten großen Erdbeben von Tokio wurden 70% der Häuser durch die Erschütterungen oder durch Feuer zerstört.

Über die Beben im schwarzen Erdteil wissen wir sehr wenig; die uns bekannten Küstengebiete sind hin und wieder der Schauplatz erdbewegender Erscheinungen. In Amerika sind am bebenreichsten das Mississippigebiet, Kalifornien, Mexiko und die Antillen, vor allem aber die Bergländer Chiles, Perus und die Andenkette. In diesen Gebieten ist wie auch auf den pazifischen Inseln das Erdbeben eine häufige Nebenerscheinung vulkanischer Gewalten.

Schon frühzeitig versuchten die Menschen, sich über die Entstehung der Erdbeben eine Vorstellung zu machen, die allerdings häufig phantastisch genug war. Rasch faßte die mittelalterlichen Ansichten in seinem Werke „Etliche Traktat" vom Jahre 1582 wie folgt zusammen: „Ob in dem erdrich darinnen, als am himel oder in lufften, die hitz oder kalt mit einander streiten, dardurch solch ein greulich erschröcklich stoßen, schupffen, hupffen, zittern, werffen, fellen, sausen und pfnaufen anrichten wie der donner und plitz, so kommt von kalt und hitz.

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 193. Zerstörung von Häusern in S. Franzisko durch das Erdbeben von 1906. Die aus Eisenbeton erbauten Häuser widerstanden den Erschütterungen am besten.

Oder, ob der wind wider daz wasser oder daz wasser wider den wind, oder ein wind wider den andern, oder ein wazer gegen das andere, unter und gegen einander sich sezen, anstoßen und yrren. Oder ob ein wassergang verfallen, verschoppet, oder ob etwo in der Erd ein gewölbe eingegangen say oder, daz die erdgeister und bergmännlein streiten oder daz der meerfisch Celebrant sich recke und strecke, die erd also unmäßig rüre und bewege, die auf yhne lige und ruhe oder waz der ursacher sonst sey, dardurch und wez wegen der Erdboden also geblöet, getrükt, getrengt und gehebt wird, daz ist bey allen gelehrtesten und berümbtesten Naturforschern noch unerörtert."

Allmählich rang sich die richtige Erkenntnis durch. Hatte man noch lange Zeit hindurch die Erdbeben als Folgeerscheinung des Vulkanismus angesehen, so fand man schließlich doch, daß beide, vulkanische Gewalten und Beben, nur zwei Seiten ein und derselben Sache, zwei Wirkungen einer einzigen Ursache, der Gebirgsbildung, seien. Dennoch ist eine völlige Klarstellung auch heute noch nicht erreicht. Man kann eben nicht alle Erscheinungen mit gleichem Maßstab messen, denn vielerlei wirkt auslösend auf die Erschütterungen ein. Daraus ergibt sich auch gleich eine Vielheit der Einteilung. Nach Hoernes muß man die Erdbeben in drei Gruppen sondern: in vulkanische, in Einsturz- und in tektonische Beben. Die vulkanischen gehen Hand in Hand mit Eruptionen. Sowohl der Wasserdampf als auch das flüssige Magma drängen und stoßen gegen den festen Erdpanzer, der in Zuckungen und Schwingungen gerät, bis schließlich in einer gewaltigen Explosion die Schichtendecke dem drängenden Glühfluß nachgeben muß.

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 194. Große, viele Meter breite Erdbebenspalte in Japan.

Die Einsturzbeben werden durch Zusammenbrüche unterirdischer Hohlräume, die das Wasser auslaugte, verursacht. Namentlich in der Nähe von Salz- und Gipslagern können sich große Hohlräume bilden, deren Einsturz lokale Beben hervorruft.

Am wichtigsten sind aber die tektonischen Erdbeben, die durch Verschiebungen von Massen in der Erdrinde bedingt sind und große Gebiete betreffen. Unter ihren Stößen erbeben ganze Länder, und das feinfühlige Meßinstrument, dessen sich der Mensch bedient, der Seismograph, vermag ein leichtes Zittern auf der ganzen Erde nachzuweisen.

Diejenige Stelle in der Erdrinde, von welcher ein Erdbeben ausgeht, wird als Erdbebenherd (Hypozentrum) bezeichnet. Dieser liegt natürlich bei jedem Beben verschieden tief, und es ist versucht worden, seine Lage aus der Wirkung des Stoßes, besonders aus der Richtung von Spalten und Rissen an Gebäuden zu erschließen, ohne jedoch mehr als vage Vorstellungen zu erhalten. Das eine ist allerdings klar, nämlich daß Erdbeben mit heftiger Wirkung auf kleinem Umkreise einen nahe an der Oberfläche gelegenen Herd besitzen müssen, Erdbeben mit schwachen Wirkungen, die sich aber in weltweiter Verbreitung verspüren lassen, einen solchen in größerer Tiefe. Im großen und ganzen scheint die Herdtiefe gering zu sein und nur wenige Kilometer zu betragen. In Ausnahmefällen erreicht sie 100 und mehr Kilometer.

Die einzelnen Herde, die man sich natürlich flächenhaft vorstellen muß, lassen sich nun in große Gruppen einteilen, und zwar hat man folgende Gebiete unterschieden (die in Klammern gesetzten Ziffern zeigen die Zahl der Erdbeben während der Jahre 1899—1902 an):

Alaska (25), Kordilleren (14), Antillen (16), Anden (12), Japan (29), Java (41), Mauritius (17), Nordostatlantik (22), Nordwestantlantik (3), Nordatlantik (3), Antarktis (2), Alpen—Balkan—Kaukasus—Himalaja (14).

Die genannten Gebiete zeichnen sich sämtlich durch große Höhenunterschiede aus und lassen deshalb die tektonischen Beben leicht erklärlich erscheinen. Die Erdbebengebiete sind also auf jene Teile der Erdoberfläche beschränkt, bei denen sich ein deutliches Gefälle beobachten läßt (Abb. 196).

Wenn von einem Erdbebenherd eine Erregung ausgeht, so wird sie sich, den Wellen vergleichbar, die ein ins Wasser geworfener Stein erzeugt, nach allen Richtungen hin ausbreiten. Sie wird die Erdoberfläche natürlich am ehesten an der Stelle treffen, die gerade über dem Herde des Bebens gelegen ist (Epizentrum).

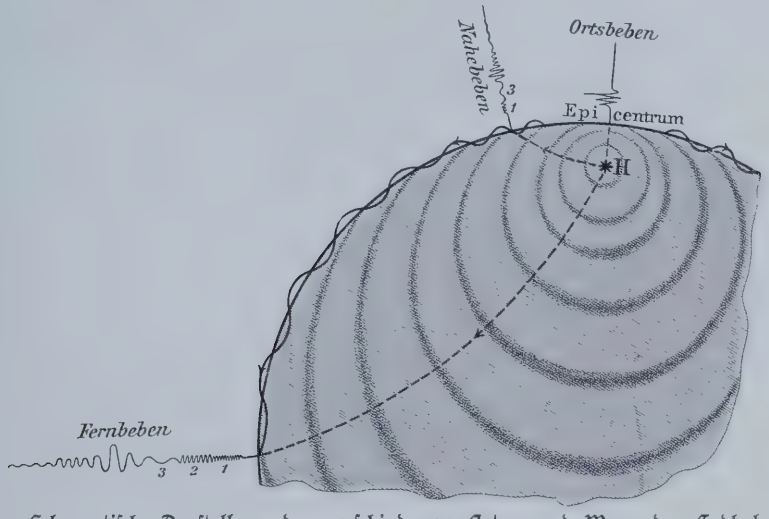


Abb. 195. Schematische Darstellung der verschiedenen Arten und Wege der Erdbebenwellen und die durch sie hervorgerufenen seismometrischen Kurven (n. Sieberg).

Hier äußert sich die Wirkung des Bebens hauptsächlich in einzelnen Stößen. Sowie aber die Wellenbewegung die Erdoberfläche erreicht hat, eilt sie naturgemäß sogleich nach allen Seiten hin fort und bewirkt nun erst das eigentliche Beben. Je weiter sie sich vom Epizentrum entfernt, desto geringer wird das Ausmaß der Welle. Daraus ergibt sich ohne weiteres, daß man Orte mit gleicher Bebenstärke, deren Ausmaß von Instrumenten aufgezeichnet wird, auf einer Landkarte durch Linien verbinden kann. Man erhält dann die sogenannten Isoseistenkarten. Aus ihnen ergibt sich auch der Charakter eines Bebens: liegt das Epizentrum in nächster Nähe des Beobachtungsortes, so spricht man von einem Ortsbeben, ist es bis zu ein paar hundert Kilometern entfernt, von einem Nahbeben, und liegt es schließlich über 500 km weit vom Beobachtungsort weg, dann spricht man von einem Fernbeben. Die Karten zeigen uns aber auch noch etwas anderes. Die Erschütterung kann entweder nach allen Seiten hin gleichzeitig weitergehen: dann sind die Homoseisten, die Linien gleichzeitiger Erschütterung, kreisförmig; meist aber pflanzt sich die Erregungswelle besonders nach bestimmten Richtungen hin fort: dann ruft sie elliptische Homoseisten hervor.

Abb. 196. Karte der wichtigsten Erdbebengebiete, der Faltengebirge und Tiefsenkungen (nach J. Milne).

Ebenso ist auch die Geschwindigkeit der Wellen nicht überall gleich. In festen, dichten Gesteinen verläuft die Welle schneller als in lockeren Sanden, wo zwischen den Körnern immer winzige Zwischenräume liegen. In den mächtigen Serpentingesteinen der paläozoischen Gruppe beträgt nach Nagaokas Untersuchungen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit etwa 6 km in der Sekunde, in den lockeren Tuffen der jüngsten geologischen Vergangenheit dagegen nur 2—3 km.

Die Isoseistenkarten setzen ein festgelegtes Maß für die Erdbebenstärke voraus, nach dem die Erschütterungen abgeschätzt werden können. Heute wird meist die Mercalli-Cancanische Intensitätsskala angewandt, die im nachstehenden abgedruckt ist. Die rechts stehenden Ziffern geben das Maß der Bewegung eines Bodenpunktes in Sekundenmillimetern an.

Stärkegrad	Kennzeichen	Größte Beschleunigung in mm pro Sekunde
I	Nur instrumentell wahrnehmbar	weniger als 2,5
II	Sehr leicht	2,5—5,0
III	Leicht	5—10
IV	Mäßig fühlbar	10—25
V	Ziemlich stark	25—50
VI	Stark	50—100
VII	Sehr stark	100—250
VIII	Zerstörend	250—500
IX	Verwüstend	500—1000
X	Vernichtend	1000—2500
XI	Katastrophal	2500—5000
XII	Große Katastrophe herbeiführend	5000—10000

Wir wenden uns jetzt den Veränderungen zu, die durch Erdbeben auf der Erdoberfläche entstehen. Obgleich sie für den Menschen große Katastrophen bedeuten, sind sie, auf die Gesamtoberfläche der Erde bezogen, doch recht geringfügig. Denn was heißt es da, wenn an einer Stelle einmal ein paar hundert Häuser einstürzen! Es lassen sich aber doch zumeist nach einem Beben ganz bestimmte Veränderungen feststellen, die für geologische Fragen von größerer Wichtigkeit sind. Dreierlei Arten kann man unterscheiden. Einmal sind es schnell vorübergehende Erscheinungen, wie Spaltenbildungen, die manchmal das Gelände kreuz und quer durchziehen. Neben den Spalten treten recht häufig auch Erdfälle und Trichter auf, namentlich über Hohlräumen des Bodens und, wenn die Stoßkraft recht stark war, mitunter auch kleine Sand- und Erdkegel, die naturgemäß bald wieder den zerstörenden Einflüssen von Wasser und Wind zum Opfer fallen.

Schließlich können aber infolge eines Erdbebens auch sehr deutliche Klüfte und Geländestufen entstehen. In Japan sind Risse von 50 km Länge und bis zu 100 m Tiefe beobachtet worden, und bei dem Erdbeben von Lissabon versank der gesamte Hafendamm mit allen Bauten in das Meer (Abb. 192—194).

Beben, die den Meeresgrund betreffen, werden als Seebeben bezeichnet. Sie kommen in allen Meeren vor, doch sind auch hier gewisse Gebiete durch häufige Erschütterungen ausgezeichnet. So gibt es im Atlantik vier Zonen der Bebenhäufigkeit, von denen die zwischen den Azoren und Portugal gelegene die bekannteste ist.

Es ist ohne weiteres klar, daß Seebeben verhältnismäßig selten beobachtet werden können. Befindet sich ein Schiff gerade im Epizentrum, so kann es mitunter aus dem Wasser emporgeschleudert werden oder es wird für einige Sekunden in seiner Fahrt gehemmt, als sei es auf eine Klippe aufgefahren. Das Meer selbst kommt in große Aufregung, es wallt wie siedendes Wasser im Kessel, und an einigen Stellen erheben sich hohe Säulen und Fontänen. Von dem Mittelpunkt der Erregungsstelle aber geht eine gewaltige Flutwelle aus. Über zwanzig Meter hoch, kann sie weite Strecken auf Inseln oder auf dem Festland überfluten. Bei der Beschreibung des Ausbruchs des Krakatau in der Sundastraße hatten wir solch eine gewaltige Welle kennengelernt. Sie war hier durch die Explosion entstanden, die natürlich auch ein starkes Erdbeben im Gefolge hatte. Aber auch Seebeben, die auf tektonische Erscheinungen zurückgehen, bedingen ganz entsprechende Flutwellen.

In Japan haben diese Wogen einen besonderen Namen (Tsunami) erhalten, woraus sich erkennen läßt, daß es sich um eine häufige Erscheinung handelt. Im Jahre 1293 riß eine solche Woge 30000 Menschen in ein kühles Wellengrab und zerstörte die blühende Stadt Kamakuda. Im Jahre 1703 wurde eine ganze Provinz verwüstet; 100000 Menschen fielen nach dem Bericht alter Chroniken der Flut zum Opfer.

Auch die Mittelmeergebiete, vor allem die griechische Halbinsel, werden von Bebenwogen sehr oft heimgesucht. Das Altertum hat uns Berichte von Verwüstungen überliefert, und bis in unsere Zeit hinein ist der Meeresboden in der Küstennähe unruhig und häufig bewegt gewesen.

C. Gebirgsbildende Vorgänge.

Sowohl beim Vulkanismus wie bei den Erdbeben hatten wir als letzte Ursache stets gebirgsbildende Vorgänge kennengelernt. Diese auf endogenen Kraftäußerungen beruhenden Erscheinungen bedingen zugleich den gesamten Aufbau der Erde mit seinen Vollformen, die als Gebirge in die Erscheinung treten, und mit seinen vielfältigen Hohlformen.

Zu den Vollformen gehören die Gebirge, die Hochländer und Tafelländer. Eine genauere Einteilung dieser Formen zu geben, ist Aufgabe der Morphologie, wir werden deshalb in einem späteren Abschnitt darauf zurückkommen und begnügen uns in diesem Zusammenhang damit, auf die geologische Entstehung der Faltungsgebirge einzugehen.

Die Faltungsgebirge, deren Merkmal die deutliche Faltung ihrer Schichten (vgl. S. 193) ist, sind nicht regellos auf der Erde verteilt, sondern auf ganz bestimmte Zonen beschränkt, die als schmale Gürtel die Kontinente durchziehen. Ein Gürtel verläuft in nordsüdlicher Richtung an der Westküste Nordamerikas, und mit einer Ausbiegung über die Westindischen Inseln an der Westküste Südamerikas. Eine zweite Faltungszone berührt den Süden Europas und Asiens und biegt dann nach Norden und Süden ab. Sie beginnt mit den Pyrenäen der Sierra Nevada und dem Atlas, zieht dann durch Südeuropa weiter, wo Jura, Alpen, Karpathen, Balkan ihr angehören, und springt dann nach Asien über. Hier finden sich die gewaltigen Faltungsgebirge Kleinasiens, des Kaukasus und weiterhin die riesigen Erhebungen des Karakorum, des Himalaja, des Kwen-Lun und des Tien-Schan. Im Bogen biegt die Zone sodann nach den Sundainseln ab, wo sie sich in der Weise teilt, daß eine Zone nach Süden verläuft und Neuguinea und Neuseeland berührt, während die andere der Ostküste Asiens folgt, die japanischen Gebirge aufbaut und über Kamtschatka in das große Faltengebirge Amerikas einmündet (Abb. 197).

Die meisten der dieser Zone angehörenden Faltungsgebirge zeichnen sich durch einen bogenförmigen Verlauf aus und zwar derart, daß sie an ihrer konvexen Seite einem Hochland angelagert sind, während ihre Konkavseite an eine eingesunkene Scholle grenzt. Die Alpen z. B. haben an ihrer nördlichen Konvexseite die schwäbisch-bayerische Hochebene, an der Südseite den Einbruch der Lombardei, die Karpathen an der Konvexseite die russische Tafel, ein sehr altes Tafelland, an der Innenseite das ungarische Senkungsfeld. Es entspricht durchaus unseren schon gewonnenen Erkenntnissen, daß Vulkane, wo sie in Faltengebirgen vorkommen, stets an den Konkavseiten liegen, an denen starke Niveauunterschiede vorhanden sind.

Der bogenförmige Verlauf der großen Faltungszone mit seinen zahlreichen Abbiegungen hängt mit den Widerständen zusammen, die das gefaltete Land an bereits vorhandenen Gebirgsmassen fand. Es liegt auf der Hand, daß diese, auch wenn sie schon stark abgetragen waren, wie feste Bollwerke wirkten, an denen die Falten abprallten oder um die sie sich herumlegten. Die Gestalt der Alpen wurde z. B. bedingt durch die Massen des französischen Zentralplateaus, der oberrheinischen Gebirge und des alten böhmischen Massivs, um die sich die Falten im Karpathenbogen direkt herumlagerten.

Schon Eduard Sueß hat den Nachweis erbracht, daß die faltende Kraft in Europa von Süden nach Norden gewirkt hat, und zwar nicht erst bei der großen Faltung der Alpen, sondern schon vorher. Er hat vier verschiedene Faltungsperioden unterschieden, in denen Europa gebildet wurde.

Die älteste Faltung liegt schon in voralgonkischer Zeit; ihre Reste lassen sich aber im Nordwesten Europas noch deutlich erkennen. Auf den Hebriden und im nordwestlichen Schottland sind uralte Gneise gefaltet worden. Da die darüberliegenden algonkischen Schichten horizontal abgesetzt sind, muß die Faltung vor ihrer Ablagerung, also in voralgonkischer Zeit erfolgt sein.

Abb. 197. Tektonische Skizze Europas. Die Abhängigkeit der jungen Gebirge von den alten Massengebirgen tritt deutlich in die Erscheinung.

Die zweite, sogenannte kaledonische Faltung, hat die silurischen Schichten in Schottland, Wales und Skandinavien in Falten gelegt, die inzwischen allerdings wieder abgetragen wurden, so daß nur die Rümpfe der früheren Gebirge übrig geblieben sind.

In der jüngeren Steinkohlenzeit erfolgte eine dritte Faltung und bildete in Europa zwei mächtige Gebirgsbögen. Diese beginnen im französischen Zentralplateau und verlaufen als armorikanische Ketten in einem nach Nordwesten ziehenden, die Gebirge der Bretagne, Südenglands und Irlands in sich begreifenden Bogen, und als variskische (varisische) Ketten in einem nach Nordosten laufenden Bogen, den Penck als die mitteleuropäischen paläozoischen Alpen bezeichnet hat und dessen Reste in den Rümpfen der deutschen Mittelgebirge (Vogesen-Schwarzwald, Rheinisches Schiefergebirge, Thüringer Wald, Harz usw.) nachweisbar sind. Auch die zentralen Teile der Alpen und die Rumpfgebirge Spaniens sind im Ober-

karbon entstanden, ebenso die nordamerikanischen Alleghanies und Rocky Mountains, der Ural und zahlreiche Gebirge Asiens während der karbonischen Zeit.

Die letzte Faltung ging in der Tertiärzeit vor sich und baute die schon genannten großen Faltengebirge auf.

Überblickt man die einzelnen Faltungen Europas auf der Karte, so erkennt man, daß sie im Laufe der geologischen Vergangenheit immer weiter nach Süden verlagert worden sind. Stets aber ging die Schubkraft von Süden nach Norden hin, im Gegensatz zu den asiatischen Gebirgen, wo die Schubkraft gerade umgekehrt, also nach dem Indik und Pazifik zu gewirkt hat.

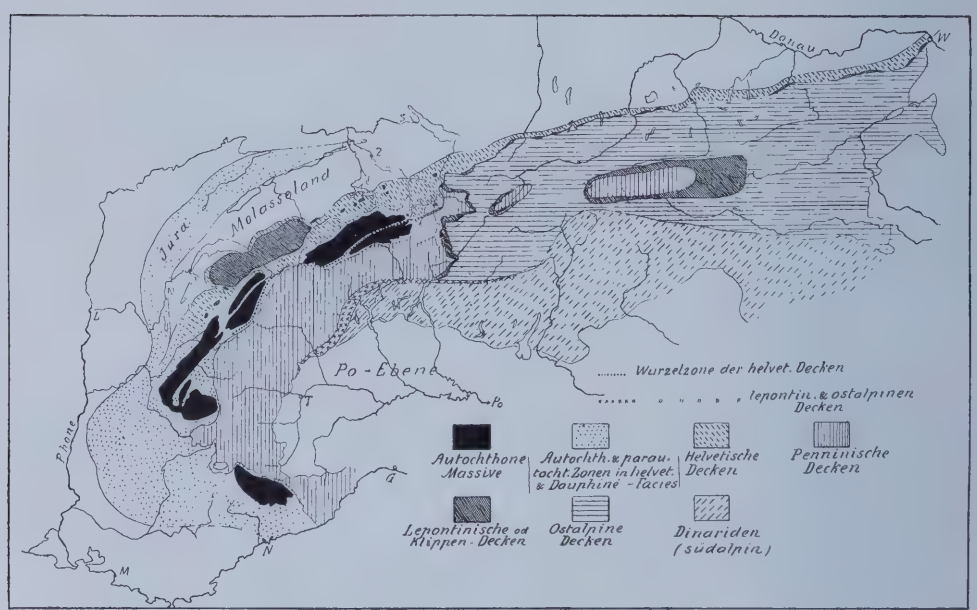


Abb. 198. Übersichtskarte der Hauptdecken der Alpen (n. Heim).

Außer den genannten großen Faltungen haben zwischendurch noch andere stattgefunden, die für den Aufbau unseres Vaterlandes bedeutungsvoll waren. Ein großer Teil Thüringens, des Harzvorlandes, Hannovers und des Teutoburger Waldes wurde durch eine Reihe von Faltungen betroffen, die während der Jurazeit einsetzten, bis ins Tertiär hinein dauerten und in ihrer Gesamtheit als saxonische Faltung bezeichnet werden.

Für den Aufbau der jüngeren Faltengebirge ist nun nicht reine Faltung, sondern, wie schon S. 194 erwähnt, auch Überschiebung maßgebend gewesen. Was den Aufbau der Alpen betrifft, so hat man folgende Zonen unterschieden (Abb. 199):

1. Das Zentralmassiv, das schon zur Karbonzeit gefaltet und später von Sedimenten diskordant überlagert wurde und das ein festes Rückgrat im Alpenkörper darstellt.

2. Die helvetischen Decken, denen die Schweizer Alpen und ein Teil Savoyens angehören. Sie entstammen dem Südrande des Aarmassivs und dehnen sich als schmaler Randsaum bis nach Wien aus.

3. Die penninischen Decken, welche Graubünden, das Tessin und Wallis aufbauen und die südlichen Zentralmassive aus gefaltetem Gneis bilden. Sie liegen südlich des Zentralmassivs.

4. Die lepontinischen Decken, zu denen Rhätikon, die Klippen am Vierwaldstätter See und die Préalpes gehören. Sie sind über die penninischen, im Norden der Alpen über die helvetischen Decken hinübergeschoben worden; ihre Wurzeln aber liegen weit im Süden, südlich der penninischen Zone.

5. Die ostalpinischen Decken. Diese umgreifen den größten Teil der Ostalpen und bestehen aus Gesteinen der alpinen Trias. Sie sind über die Decken 2, 3 und 4 hinweggeschoben, so daß diese nur am Nordrande zum Vorschein kommen und an jenen Stellen, wo die ostalpine Decke durch Erosion zerstört ist, so daß man durch ein sog. Fenster den Untergrund erkennen kann.

6. Die Dinariden. Der Südrand der Alpen, vom Lago Maggiore aus nach Osten gehend, ist zuerst von E. Sueß als ein besonderes Gebirge von den Alpen abgetrennt, weil er in seiner Tektonik von diesen grundsätzlich abweicht.

Schon der kurze Überblick dürfte erweisen, wie kompliziert der geologische Bau der Alpen ist, wobei man noch zu berücksichtigen hat, daß die einzelnen Decken vielfach zerrissen sind und deshalb nicht mehr regelrecht übereinander, sondern wirr durcheinander liegen, daß sie mehr oder weniger zerstört und in einzelne „Klippen" aufgelöst sind und daß die Verbreitung der untenliegenden Decken nur durch gelegentliche Fenster in den oberen zu erschließen ist. Damit nicht genug, trat nach der Überschiebung der Decken im Miozän später eine zweite Faltung ein, die einesteils die Zentralgebiete nochmals faltete und aufstaute, anderenteils die einzelnen Decken zusammenstauchte und, ineinander verquetscht, noch weiter nach Norden vorschob. Die Abb. 199 gibt uns eine stark schematisierte Darstellung der Verhältnisse; sie läßt deutlich erkennen, welche komplizierten Vorgänge gedeutet werden müssen.

So intensiv die Gebirgsbildung in den Alpen auch gewesen ist, es läßt sich nicht verkennen, daß das Ausmaß der Faltungen im Laufe der Erdgeschichte immer geringer geworden ist. Die ältesten archäischen Gesteine sind sämtlich und auf der gesamten Erde gefaltet worden, vom Algonkium ab haben wir daneben Schichten, die bis heute ihre ursprüngliche horizontale Lagerung beibehalten haben, und zwar aus dem Grunde, weil ihre Unterlage inzwischen so starr geworden war, daß weitere Faltungen nicht möglich

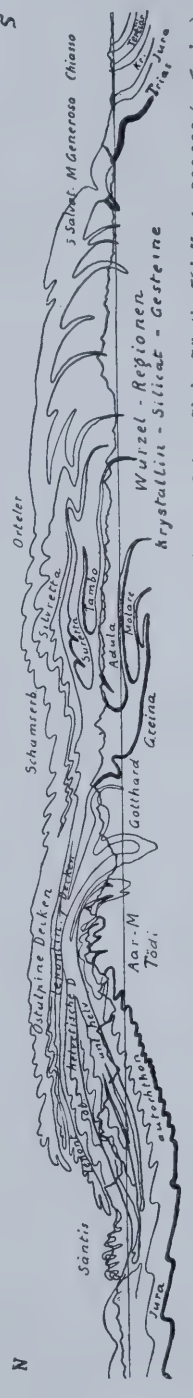


Abb. 199. Schematischer Versuch eines Gesamtprofils durch den Deckenbau der Alpen auf der Linie Säntis-Chiasso 1 : 800000 (n. Heim). Die Skizze zeigt das Überbranden der einzelnen Decken und die komplizierten Faltenbildungen.

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 200. Hebungen und Senkungen im Mittelmeergebiet. Palast des Cäsar bei Bajae.

sein konnten. Die karbonischen Alpen und die gleichalterigen Gebirge in außereuropäischen Ländern legten sich dementsprechend in Bögen um solche festen Kerne herum. Die tertiären Gebirge fanden an den karbonischen neue Widerstände, weshalb sie sich nur als ein schmaler Gürtel, der zwischen starren Massen eingeengt ist, darstellen. Dabei ist allerdings bemerkenswert, daß gewisse Gebiete immer wieder von Faltungen betroffen wurden, so daß man annehmen muß, es handele sich um besonders labile Stücke der Erdrinde. Man nennt diese Zonen Geosynklinalen und versteht darunter Gebiete, die wegen ihrer geringen Widerstandsfähigkeit schon in sehr früher geologischer Vergangenheit einsanken, von Meer bedeckt wurden und sich in gleicher Weise, wie sie weiter eintauchten, mit Sedimentgesteinen anfüllten.

Bei dem fortschreitenden Absinken gelangten die untersten Schichten der Geosynklinale schließlich so tief, daß sie durch die erhöhte Temperatur in einen plastischen Zustand versetzt wurden und zugleich an Volumen zunahmen. Da die danebenliegenden festen Rindenstücke ein seitliches Ausweichen unmöglich machten, vielmehr noch auf die weichen Schichten der Mulde einen hohen Druck ausübten, mußten sich die Schichten nach oben falten; aus dem Meeresgrund erhob sich ein Faltengebirge. Daß diese Annahmen berechtigt sind, geht daraus hervor, daß in der Faltungszone der europäischen Hochgebirge eine sehr alte Geosynklinale liegt, die Tethys, ein großes, von Europa bis nach Sumatra reichendes Mittelmeer, welches vom Paläozoikum bis zum älteren Tertiär durch alle Formationen hindurch bestanden hat. Ebenso sind die Gebirge Asiens, Amerikas und Australiens aus alten Meereströgen emporgewachsen.

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 201. Der Serapistempel von Pozzuoli, ein Beispiel für abwechselnde Hebung und Senkung.

Bei jeder Faltung mußte sich nun natürlich das betreffende Stück der Erdrinde stark zusammenschieben. Heim hat berechnet, daß der Landstreifen, aus dem die jetzt 150 km breiten Alpen herausgefaltet wurden, 600—1200 km breit gewesen ist. Allein durch die Alpenfaltung hätte sich demnach der Erdumfang um beinahe 3% verringert. Wenn wir nun aber bedenken, daß während der ganzen Erdgeschichte große Gebirge aufgefaltet wurden, so müssen wir mit Notwendigkeit schließen, daß der Umfang der Erde fortlaufend geringer geworden ist.

Wir hatten nun aber schon in anderem Zusammenhang darauf hingewiesen, daß die Schrumpfung der Erde eine Folge der weitergehenden Abkühlung ist, und so können wir denn sagen, daß alle gebirgsbildenden, alle tektonischen Vorgänge letzten Endes ihre Erklärung in dem Phänomen des sich abkühlenden Planeten finden, dessen Oberflächenschicht für den Kern zu groß wird, so daß sie in Stücke bricht, zerreißt oder auch in Falten gelegt wird, um den Zusammenhang mit dem schwindenden Kern nicht zu verlieren.

Außer den bisher beschriebenen tektonischen Erscheinungen gibt es nun noch Veränderungen an der Erdoberfläche, die so langsam vor sich gehen, daß sie sich erst im Laufe vieler Jahre auswirken. Solche „säkularen Hebungen und Senkungen" treten besonders deutlich an Küsten hervor.

Hebungen der Küste lassen sich leicht an sogenannten Hochterrassen nachweisen, welche die Arbeit des Meeres über dem heutigen Niveau erweisen. Muschelbänke, Korallenstöcke finden sich bisweilen viele Meter hoch an der Steilküste, so fand schon Darwin an der Küste Chiles Muschelbänke in 400 m Höhe über dem Meeresspiegel.

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 202. Unter das Meer eingetauchtes Moor an der pommerschen Küste, das sichere Merkmal einer sich senkenden Küste.

Senkungen der Küste erkennt man an antiken Bauwerken, die im Wasser stehen, an untermeerischen Torflagern und an den untermeerischen Tälern. Die Fjorde Norwegens, die Förden Norddeutschlands, die Hudsonmündung sind ebenso ertrunkene Täler wie der Bosporus und der Hellespont.

Unter Berücksichtigung dieser Merkmale kann man Hebungen im Mittelmeergebiet (Peloponnes, Sizilien, Sardinien, Südspanien), in Westfrankreich, in Irland, Schottland und Skandinavien feststellen. Im Innern Norwegens findet man junge Muschelbänke in 300 m Höhe; Skandinavien hebt sich im Norden mehr als im Süden, Schonen scheint der Angelpunkt der Bewegung zu sein.

Senkungen des Landes treffen wir in England, Nordfrankreich, an der Küste der Niederlande und Deutschlands, sowie in Unterägypten. Bisweilen wechselt auch Aufsteigen mit Absinken, so an der Küste zwischen Neapel und Sorrent. Das bekannteste Beispiel hierfür bietet der Serapistempel von Pozzuoli. Seine am Strande stehenden, 12 m hohen Säulen sind bis zu $3^1/_2$ m Höhe glatt, dann 3 m hoch von Bohrmuscheln zerfressen, dann wieder glatt. Der Tempel, den man 1749 aus der vulkanischen Asche ausgrub, war demnach in seinem untersten Teil schon sehr früh mit Asche bedeckt, er wurde dann von den Wellen $3^1/_2$ m hoch bespült, so daß sich die Bohrmuscheln an den Säulen ansiedeln konnten. Später tauchte die Ruine wieder aus den Fluten empor und wurde von der Asche neuer Eruptionen zugedeckt. Jetzt macht sich eine neue Senkung geltend (Abb. 201).

Nordamerika steigt an der atlantischen Seite im Nordteil auf, während vom 45. Grad n. Br. bis nach Florida eine Senkung stattfindet. Die süd-

amerikanische Westküste steigt auf mit Ausnahme der sinkenden Scholle von Peru. In Asien sind die Nord-, Süd- und Ostküsten in Hebung begriffen, ebenso der indisch-malaiische Archipel und die Küsten Kleinasiens, des Pontus und des Kaspisees, während Südchina und Tonking sinken. Australien ist ebenfalls in absteigender Bewegung bis auf das südliche Tasmanien, in Afrika herrscht Aufwärtsbewegung vor.

Wenn auch diese Niveauveränderungen so langsam erfolgen, daß sie nur mittels genauer Messungen festgestellt werden können, so erreichen sie doch in den Zeiträumen der Erdgeschichte ein recht beträchtliches Ausmaß, denn erwiesenermaßen haben sie zu allen Zeiten der geologischen Vergangenheit stattgefunden. Sie erklären denn auch den steten Wechsel zwischen Wasser- und Landsedimenten in den einzelnen Formationen, der lediglich der Ausdruck für Kontinentalverschiebungen ist. Folgt auf eine Schichtenserie von Meeresablagerungen eine Süßwasser- oder Festlandsschicht, so ist diese eben dadurch zu deuten, daß der alte Meeresboden sich inzwischen gehoben hatte, Strandzone und schließlich Festland geworden war (Abb. 203).

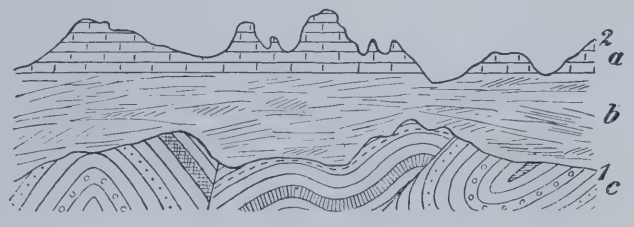


Abb. 203. Idealprofil zur Erläuterung von Hebungen und Senkungen. c Gefaltete, verworfene und abgetragene alte Schichten. 1 = Die alte Landoberfläche. Darüber Süßwasser- und Windabsätze (b) und schließlich Meereskalke (a), die nach erfolgter Hebung von den exogenen Kräften zum Teil wieder abgetragen worden sind. 2. Die heutige Landoberfläche (n. Dacqué).

Es darf nicht verschwiegen werden, daß außer der Schrumpfungstheorie noch andere Theorien aufgestellt worden sind, um die tektonischen Erscheinungen zu erklären, doch liegt es nicht in der Aufgabe unseres Buches, sich in die vielfältigen Hypothesen zu verlieren, die an sich nur bezeugen, daß eine restlose Lösung der angeschnittenen Probleme noch nicht so schnell erwartet werden darf.

III. Die exogenen Kräfte.

Wenn sich die endogenen Vorgänge als Wirkungen allmählicher Abkühlung des Erdinnern darstellen, so gehen die exogenen Vorgänge letzten Endes auf die Erwärmung der Erde durch die Sonne zurück. Die Sonnenstrahlung liefert die Energie für das Zustandekommen des Kreislaufs des Wassers, sie bedingt die Strömungen der Luft und des Meeres, und sie ermöglicht auch das gesamte organische Leben, indem sie die Grundlage für die pflanzliche Assimilation und damit für die Ernährung aller Lebewesen liefert. Die Atmosphäre, das kreisende Wasser und die Organismen sind es aber, die das Bild der Erdrinde dauernd umgestalten; neben ihnen tritt der Einfluß der die Ebbe und Flut erzeugenden Gestirne, soweit es sich um geologische Wirkungen handelt, sehr stark zurück.

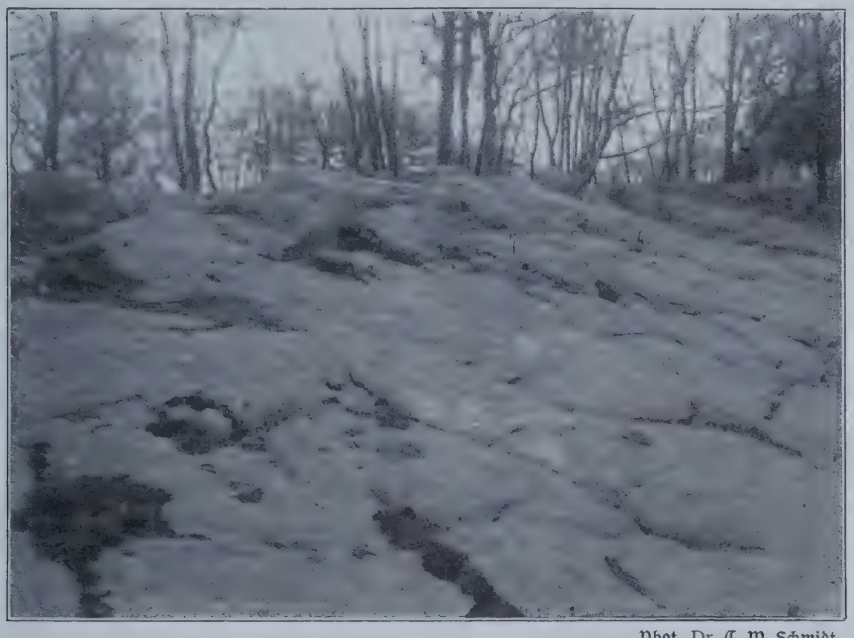
A. Die geologische Arbeit der Atmosphäre.

Die exogenen Kräfte äußern sich stets in zwiefacher Hinsicht: einmal als Neubildner, einmal als Zerstörer. Der stete Wechsel zwischen Aufbauen und Einreißen gilt ebenso für den Einfluß der Atmosphäre auf den Boden wie für denjenigen des Wassers und der Organismen. Es ist deshalb notwendig, diese sich entgegenarbeitenden und ständig ablösenden Kräfte scharf voneinander zu trennen. Die in der Atmosphäre liegenden geologischen Kräfte werden auch als äolische bezeichnet, nach Äolus, dem Beherrscher der Winde, und so haben wir zunächst äolische Abtragung und dann äolische Ablagerung zu behandeln.

Abb. 204. Beginn eines Staubsturmes in Neu-Südwales.

Äolische Abtragung. Die Kraft bewegter Luft zeigt uns jeder Windstoß, der uns auf der Straße Staub ins Gesicht schleudert. Stürme können Bäume entwurzeln, und Orkane zerstören mitunter ganze Ortschaften. Je geringer die Reibung der Luft an festen Gegenständen ist, um so heftiger wird ihre Gewalt. In den Gebirgen müssen die Häuser im Windschutz der Hänge errichtet, müssen ihre Dächer mit großen Blöcken beschwert werden, und auf dem Meer steigern sich die Winde zu Orkanen, wie sie in gleicher Stärke auf dem Lande nicht beobachtet werden. Wüsten und Steppen werden von ständigen Winden durchbraust, während die Wälder mit ihren ungezählten Blättern die Stärke der Winde herabmindern.

Der über die Flächen hinstreichende Wind reißt alle kleinen Partikel, die lose am Boden liegen, mit sich fort, und diese sind es nun in erster Linie, welche auf das feste, gewachsene Gestein einwirken. Diese Gesamtwirkung des Windes wurde von Walther als Deflation (zu deutsch Abblasung) bezeichnet.



Phot. Dr. C. W. Schmidt.

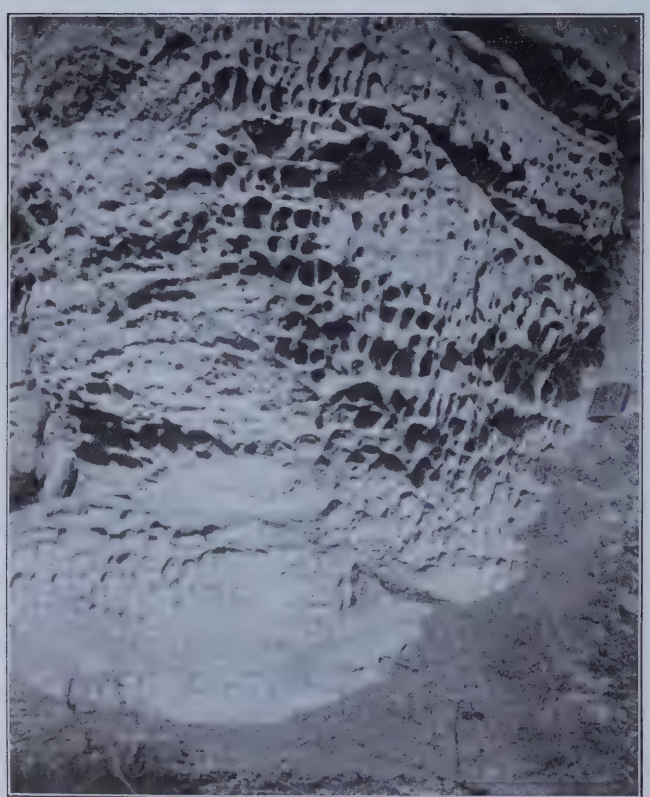
Abb. 205. Glättung des Gesteins durch Windwirkung in den Hohburger Bergen bei Wurzen (Sachsen).

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 206. Hauptsächlich durch Windwirkung entstandener Pilzfelsen. Am Eingang zu den Tyssaer Wänden in der Böhmischen Schweiz.

Nach dem vorher Gesagten ist es klar, daß wir starke Deflation vor allem in Wüstengebieten antreffen, weil hier die Windwirkung wegen der hindernisfreien Strecken und des lockeren Bodenmaterials am stärksten zur Entfaltung kommt. So bemerkt man denn auch in Wüsten- und Steppengebieten riesige Wind- oder Staubhosen (Tromben), welche hin und herwandern und oft großen Schaden anrichten (Abb. 204).

Der Wind wirkt auf die festen Gesteine in der Art eines Sandstrahlgebläses ein. Er fegt die feinen Unregelmäßigkeiten ab und glättet die Oberfläche, in der sich zugleich Rillen und Löcher bilden, welche aus Partien weniger widerstandsfähigen Gesteins hervorgegangen sind (Abb. 205 bis 207, Tafel XV).



Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 207. Wabenstruktur des Sandsteins in der Sächsischen Schweiz. Die als Maßstab dienende Tasche (in der Mitte rechts) ist 11 × 15 cm groß.

Auch die Gerölle, welche zu schwer sind, um vom Wind fortgeführt zu werden, lassen deutliche Spuren des natürlichen Sandstrahlgebläses erkennen. Diese Kantengerölle oder Windkantner zeigen sehr deutlich abgeschliffene, glatte Flächen, welche durch scharfe Grate voneinander getrennt sind. Je nach seiner Richtung schleift der Wind einmal die eine, ein anderes Mal die andere Seite ab. Diese Windkantner findet man nicht nur in den Wüsten überall verbreitet, sondern auch in Gegenden, die früher einmal einen Steppencharakter aufwiesen, so in der norddeutschen und in der oberrheinischen Tiefebene.

Große Blöcke, die früher im Boden eingebettet waren, werden allmählich freigelegt, so die Geschiebe aus dem diluvialen Mergel an einigen hochgelegenen Teilen der Insel Rügen, oder die seltsamen äolischen Tische, wie sie in Kolorado und Arizona häufig sind, und schließlich in den Wüsten Asiens, Afrikas und Nordamerikas die Zeugenberge, harte Felsen, die der Windwirkung getrotzt haben, während ihr weicheres Hinterland abgetragen wurde.

Die Wirkung des Wüstenwindes an der Sphinx.
(Nach einem Aquarell von Hans Steiner.)

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Äolische Ablagerung. Die vom Winde an einer Stelle weggenommenen Stoffe werden nun an einer anderen wieder abgelagert. Der Weg, den sie zurücklegen, ist natürlich in erster Linie von der Größe der Gesteinsteile abhängig; Blöcke bleiben überhaupt an Ort und Stelle liegen, während der feinste Staub, wie wir bei der Katastrophe des Krakatau gesehen haben, sich weltweit verbreiten kann.

Zu den wichtigsten Bildungen, die durch das Zusammentragen äolischen Materials entstehen, gehören die Dünen.

Abb. 208. Dünen an der Kurischen Nehrung. Luv- und Leeseite unterscheiden sich deutlich durch ihre verschiedenen Böschungswinkel. Im Vordergrund Windfurchen.

Zur Bildung einer Düne sind lockerer Sand und starke Winde nötig. Dünen finden sich deshalb nur dort, wo beide Bedingungen erfüllt sind, also vor allem an flachen Meeresküsten, dann aber auch in Wüsten und in anderen freien, sandigen Gegenden.

Dünen sind langgestreckte Hügel, die aus sehr feinem, leicht beweglichem Sand bestehen. Ihre Höhe ist starkem Wechsel unterworfen; während die Dünen an den deutschen Küsten zumeist nur wenige Meter hoch sind, erheben sich die Dünen der Sahara bis zu 150 m Höhe. Ihre Gestalt hängt von der Beschaffenheit des Sandes, von der Stärke des Windes und von der Form des Untergrundes ab. Die dem Winde zugekehrte Luvseite ist fast immer viel flacher als die im Windschatten liegende Leeseite, da der Wind im Luv den Sand stets wieder fortnimmt, um ihn im Lee fallen zu lassen. Wenn allerdings die Windrichtung ständig wechselt, lassen sich Luv- und Leeseite nicht mehr unterscheiden (Abb. 208—211).

Die Dünen treten stets gesellig, und zwar in mehreren Zügen hintereinander auf, wie man schon an den Dünen unserer Ostseeküste erkennen kann. Das ge-

waltigste Ausmaß erreichen sie indessen in den Wüstengebieten der Sahara und Turkistans (hier 20000 Quadratmeilen), während das größte Dünengebiet Europas in den Landes an der Westküste Frankreichs (900 qkm) gelegen ist.

Auf eine Kleinform der Dünen muß noch besonders hingewiesen werden, das sind die Windfurchen oder Rippeln, welche ihre Abhänge bedecken. Die Rippeln kennt jeder, der einmal an der See war. Sie liegen stets in der Richtung senkrecht zum Winde, ihre Höhe und Breite sind durch die Windstärke bedingt.

Der erste Anlaß zur Dünenbildung ist irgendeine Unebenheit des Bodens; auch Pflanzen, vor allem der Strandweizen, verursachen oftmals die erste An=

Abb. 209. Das Sandmeer der Wüste Karakum, deren Bogendünen, aus dem Ufergebiet des Amudarja aufsteigend, allmählich südwärts wandern.

häufung von Sand, die dann allmählich zur Düne emporwächst. Diese Pflanzen sorgen aber später auch dafür, daß die Düne eine gewisse Festigkeit erhält, während unbewachsene Dünen allmählich weiterwandern, indem von der Luvseite der Sand durch den Wind fortdauernd auf die Leeseite hinübergeweht wird. Das Ausmaß der Wanderung beträgt im Durchschnitt 10—20 m im Jahr; manche Wälder und Dörfer sind auf diese Weise schon verschüttet worden. An der kurischen Nehrung wandern die Dünen so schnell nach der Haffseite zu, daß sie — falls man ihre Bewegung nicht hemmt — in ungefähr 550 Jahren das kurische Haff vollständig ausfüllen werden.

Da der landeinwärts wandernden Düne das Meer auf dem Fuße nachfolgt, so ist die Bepflanzung der Dünen eine wichtige Aufgabe. Man steckt zunächst auf

Abb. 210. Wanderdünen bei der Kolmannskuppe. Im Vordergrund Windfurchen.

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 211. Durch Strandhafer und Kiefern festgelegte Dünen bei Binz auf Rügen. Ganz allmählich geht aus der kahlen Sanddüne die buschige graue und schließlich die bewaldete Düne hervor, deren Boden durch den Wind nicht mehr weiterbewegt werden kann.

der Luvseite Flechtwerk fest, um den Sand abzuhalten, siedelt dann Strandhafer, Strandweizen und andere Gräser an, die mit Hilfe ihrer langen, bei Zuschüttung nachwachsenden Triebe den Sand festlegen und eine erste, kümmerliche Humusdecke bilden. Später können dann Sträucher angepflanzt werden, und diese buschige Düne geht allmählich in die bewaldete Düne über. Auf Rügen und an der Ost-

Phot. Willis.

Abb. 212. Lößlandschaft in China. Der Löß bildet fast senkrechte Gehänge, so daß tiefe, steilwandige Schluchten entstehen.

seeküste kann man die Auswirkungen dieser Anpflanzungen sehr gut verfolgen; ihnen ist manch breiter Streifen Acker- und Waldbodens zu verdanken, der sonst als öde Sandfläche ungenutzt bleiben müßte (Abb. 211).

Dünenbildungen hat es auch in der geologischen Vergangenheit gegeben. In den ältesten (algonkischen) Sandsteinen finden sich Windkantner, und in Deutschland zeigen vor allem die Sandsteine der Rotliegenden- und der Buntsandsteinformation den Charakter von Wüstendünen, vor allem durch ihre Kreuzschichtung, die auch für die heute sich bildenden Dünen bezeichnend ist (vgl. Abb. 150).

Neben den Dünen ist auch die Ablagerung von Staubmassen ein äolischer Vorgang. In regenarmen Gebieten werden gewaltige Staubmassen aufgewirbelt und weit hinweggeführt. Fallen sie in ausgedehnte Becken nieder, aus denen sie nicht

durch Wasser herausgespült werden können, und werden sie durch schnell wachsendes Steppengras festgehalten, so entstehen mächtige Ablagerungen, die man als Löß bezeichnet.

Das ausgedehnteste Lößgebiet findet sich in China. Hier ist der Löß eine gelbliche, mehr oder weniger ungeschichtete, von zahlreichen Röhren durchzogene Lehmerde von 50 bis zu mehreren hundert Metern Mächtigkeit. Sein Kalkgehalt veranlaßt häufig die Bildung von bizarr geformten Kalkkonkretionen, den sogenannten Lößpuppen oder Lößkindeln. Die Röhrchen sind nach Richthofen, der den chinesischen Löß untersuchte, auf die Wurzeln der Steppengräser zurückzuführen; geschichteter Löß hat sich am Boden von Seen, in die er hineingeweht wurde, abgesetzt. Löß wird durch Wasser leicht zerstört und bildet dann tiefe Schluchten mit nahezu senkrechten Wänden.

Löß findet sich auch in Europa; er bildet eine durch Holland, Belgien, Mittel- und Süddeutschland nach Rußland ziehende Zone von 3—8 m Mächtigkeit, deren Entstehung, wie wir später sehen werden, mit der Eiszeit zusammenhängt.

B. Die geologische Arbeit des Wassers.

a) Verwitterung, Grundwasser, Quellen.

Verwitterung. Das aus den Wolken auf die Erdoberfläche niederfallende Wasser wirkt sowohl chemisch wie physikalisch auf die Gesteine ein.

Die chemische Wirkung äußert sich zunächst in der Auflösung gewisser Stoffe. Am leichtesten löslich ist neben den Kalisalzen das Steinsalz, das deshalb nur dann im Boden erhalten bleiben kann, wenn es durch eine wasserundurchlässige Tonschicht vor der Auflösung geschützt wird. Weniger, aber doch noch leicht löslich ist der Gips, in dem sich deshalb häufig Höhlen bilden. Auch Kalk und Dolomit werden relativ leicht gelöst, die anderen verbreiteten Mineralien sind schwerer löslich, aber selbst die als unlöslich geltenden Silikate geben stets Spuren in Lösung. Man hat nun zu berücksichtigen, daß chemisch reines Wasser in der Natur überhaupt nicht vorkommt. Das als Regen auf die Erde niedergehende Wasser nimmt beim Durchgang durch die Luft vor allem Kohlendioxydgas auf und erhält auf diese Weise den Charakter einer schwachen Kohlensäure. Weitere Mengen des Gases erhält das in den Boden eintretende Sickerwasser, und es wird dadurch nun befähigt, eine große Anzahl von Mineralien, nämlich sämtliche Karbonate, verhältnismäßig leicht zu lösen.

In wesentlich geringeren Mengen sind dem atmosphärischen Wasser und dem Sickerwasser noch einige andere Stoffe beigemengt: Sauerstoff, organische Substanzen, Schwefel- und Salpetersäure, Schwefelwasserstoff und Ammoniak; diese tragen sämtlich dazu bei, die chemische Wirkung des Wassers zu erhöhen.

Wir wollen nun dazu übergehen, die Erscheinungen der Verwitterung an den Gesteinen selbst zu betrachten. Die Verwitterung wird nicht nur durch die chemische Einwirkung der Sickerwässer, sondern auch durch verschiedene mechanische Einflüsse bedingt. Der Regen spült das oberflächliche Gestein ab, der Wind weht es hinweg, so daß immer neue Partien der chemischen Zersetzung preisgegeben werden. Die heißen Sonnenstrahlen zerstören das Gestein in gleicher Weise wie

der Frost, besonders der Spaltenfrost, der bis tief hinein das Gestein auseinandersprengt. Tiere lockern den Boden, wenn sie ihre Gänge darin graben oder sie pflügen ihn — wie die Regenwürmer — förmlich um, Pflanzen entnehmen ihm Nährstoffe und sprengen mit ihren Wurzelfasern die Gesteinskrume.

Darüber muß man sich allerdings klar sein, daß die Verwitterung nur die oberflächlichsten Schichten der Erdrinde zu beeinflussen vermag. Sie macht sich

Abb. 213. Granit in der Sierra de los dolores (Texas), in drei Stücke gesprungen durch starke Temperaturunterschiede vor und nach einem Gewitter.

nur geltend, soweit die eben genannten Wirkungen hinabreichen können, und das hängt im wesentlichen vom Gestein und seiner Zerklüftung ab.

Besonders leicht werden die Kalksteine von der Verwitterung angegriffen, wobei allmählich ihre Oberfläche zerstört wird. Die in ihnen etwa enthaltenen Versteinerungen treten deshalb, weil sie widerstandsfähiger sind, sehr deutlich hervor, während sie an frischen Stücken weit schwerer zu erkennen sind. Auch Sandsteine verwittern schnell, zerfallen an ihrer Oberfläche zu Grus und Sand oder zeigen auch bisweilen netzförmige Vertiefungen. Bei Graniten wird die Verwitterung durch die typischen Absonderungsformen unterstützt, die wir schon kennengelernt haben (Abb. 213).

Geht die Verwitterung an steilen Gehängen vor sich, so rutschen die Massen als Gehängeschutt hinab, wie man sowohl bei Eruptiv- wie bei Sedimentgesteinen

beobachten kann. Am Fuß der Gehänge aber häuft sich dieser allmählich abwärts kriechende Schutt an und bildet **Schuttkegel**, die namentlich im Hochgebirge sehr große Dimensionen erreichen können und die wegen ihres geringeren Gefälles und ihrer zumeist spärlichen Bewachsung deutlich in der Landschaft hervortreten.

Ganz gleichgültig, welcher Art die ursprünglichen Gesteine waren — das Endergebnis sind stets Sande, Lehme oder Tone, während der Kalkgehalt der Gesteine hinweggeführt worden ist. Trotzdem lassen sich die entstehenden Verwitterungsböden noch nach klimatischen Gesichtspunkten gliedern, und zwar in

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

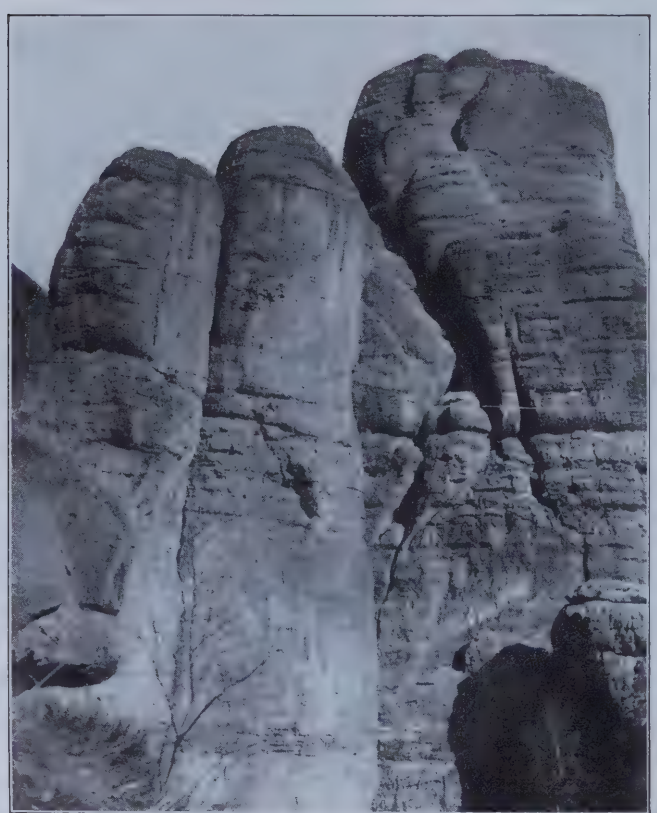
Abb. 214. Die Schrammsteine in der Sächsischen Schweiz. Die harten Steine ragen weit über die Umgebung hervor; sie werden aber durch die Kräfte der Verwitterung allmählich erniedrigt und zerstört.

Europa in drei deutliche Gruppen. Im Süden unseres Kontinents herrschen die **roten Erden** (Terra rossa) vor, in Mitteleuropa die **Braunerden**, wie sie auch für Deutschland typisch sind, und in Nordeuropa die sehr stark ausgelaugten **Grauerden**. Diese chemisch verschiedenen Böden bedingen auch eine typische Pflanzenwelt: die Roterden beherbergen die immergrüne Mittelmeerflora, die Braunerden die gemischten, sommergrünen Laubwälder und die Grauerden die nordischen Nadelhölzer, die Sumpffloren und Heidelandschaften.

Da die Verwitterung auf die verschiedenen Gesteine mehr oder weniger stark einwirkt, ist sie ein wichtiger Faktor für die Gestaltung des Landschaftsbildes. Harte Schichten widerstehen dem Zahn der Zeit und ragen, je mehr sich ihre weichere Umgebung erniedrigt, um so höher daraus hervor. An Gehängen bilden sie weithin sichtbare Simse und Bastionen, deren Nutzen der Bergsteiger am

besten kennenlernt. Aus dem mehrere hundert Meter mächtigen Muschelkalk treten einzelne feste Bänke sehr deutlich heraus, wie man in der Jenaer Gegend besonders schön erkennen kann, wo die Schichten wagerecht verlaufen und die härteren Werksteinbänke einen regen Steinbruchsbetrieb hervorgerufen haben.

Besonders harte Gesteine ragen wie Klippen aus der Umgebung hervor, so die Quarzite des Acker-Bruchbergzuges im Oberharz, der viele Kilometer lange Quarzgang des „Pfahls" im bayerisch-böhmischen Walde, die Quadersandsteine des Adersbacher Felslabyrinthes, die Quadermauern der sächsischen Schweiz und die bizarren Pilzfelsen des Kolorado-Reviers in Nordamerika. Im Buntsandstein der Vogesen bildet eine harte Konglomeratschicht förmliche Bastionen, die an vielen Stellen dieses Gebirges die Grundmauern für Burgen und feste Schlösser lieferten, wie ja überhaupt die Verteidigungsanlagen früherer Zeit häufig den natürlichen Schutz solcher harten Felsen ausgenutzt haben.

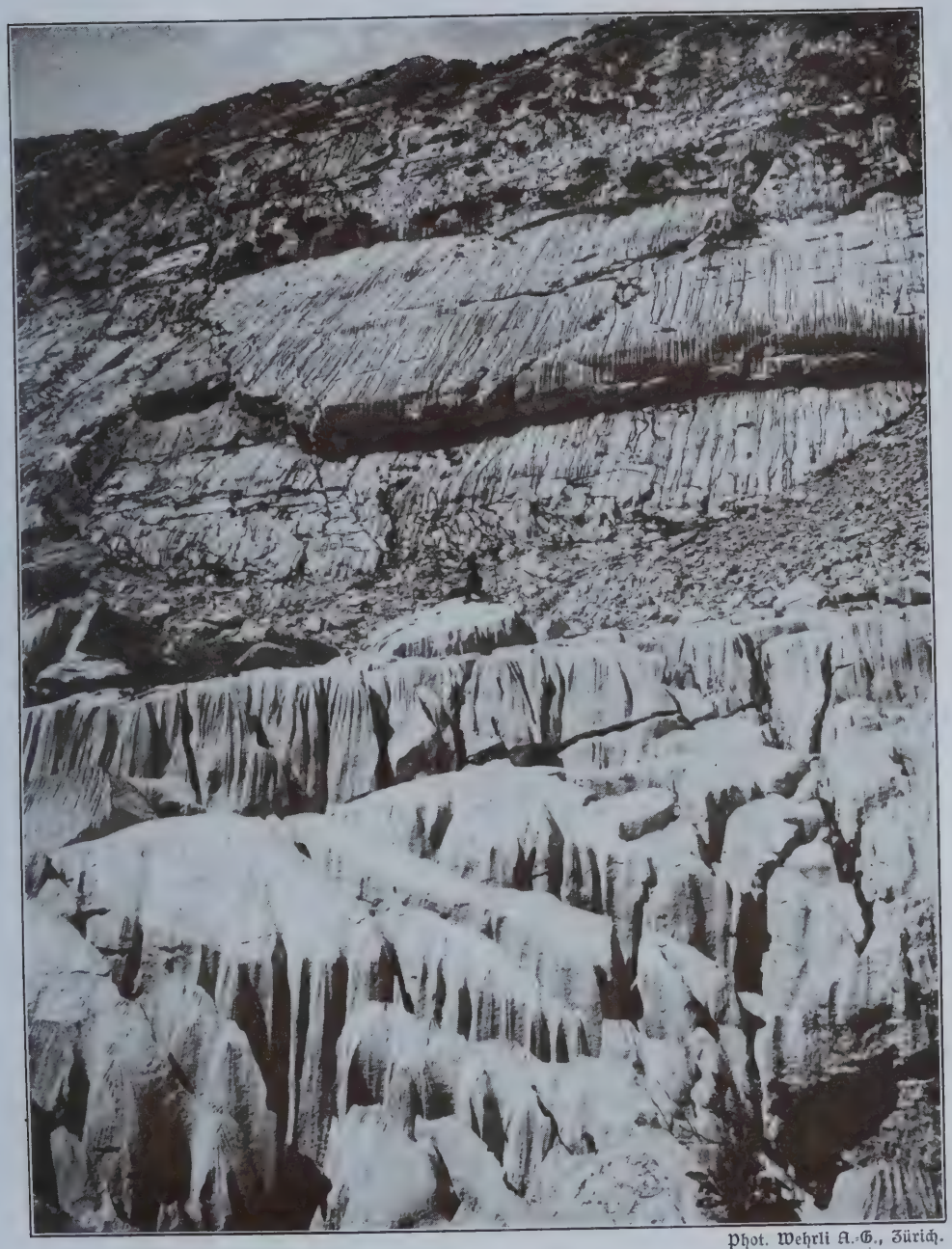


Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 215. Zerklüftung der Quadersandsteine am Schrammtor in der Sächsischen Schweiz.

Diese Beispiele mögen genügen, um darzutun, daß die Form der Berge sehr wesentlich von der Verwitterungsfähigkeit der Gesteine abhängt. Nicht nur in den Alpen kann man diesen innigen Zusammenhang deutlich erkennen, sondern überall in der deutschen Landschaft, und es hat für jeden wandernden Naturfreund einen besonderen Reiz, diesen geologischen Erscheinungen im großen wie im kleinen liebevoll nachzuspüren (Abb. 214—217).

Weit geringer als die chemischen sind die mechanischen Wirkungen des Regenwassers. Der auf lockere Gesteine herabprasselnde Regen spritzt Partikelchen hinweg und gräbt in tonige Gesteine kleine Löcher ein, die als fossile Regentropfen sich vielfach erhalten haben. Die abfließenden Rinnsale waschen in lockeren Gesteinen, z. B. in Geschiebemergelwänden oder in den Gehängen der Vulkane Rillen und Furchen aus, die bisweilen zu tiefen Schluchten werden. In Kalken der Hochgebirge bedecken die Regenrinnen die freiliegenden Schichten mit einer



Phot. Wehrli A.-G., Zürich.

Die Zerstörung der Felsen durch das rinnende Wasser.
Ein Karrenfeld in der Gipfelzone der Kalkalpen. Die Größenverhältnisse ergeben sich aus der Figur des knieenden Menschen im Mittelpunkt des Bildes.

deutlichen Kanellierung, bei der tiefe, fußbreite Rillen durch scharfe Grate voneinander getrennt sind. Bisweilen erstreckt sich diese Verwitterungsform über weite Strecken, es entstehen die sogenannten Karren- oder Schrattenfelder, die jeder Alpenwanderer von den Gipfelregionen der Kalkzone kennt und deren Überschreitung bisweilen recht mühsam ist (Abb. 218 und Tafel XVI).

Während bei ihnen die lösende Wirkung des Regens die mechanische unterstützt, sind die berühmten Erdpyramiden von Bozen und Meran ein reines Produkt der mechanischen Tätigkeit des Regenwassers. Die in die große Südtiroler Quarzporphyrplatte tief eingeschnittenen Täler wurden zur Eiszeit hoch hinauf mit Geschiebelehm angefüllt, dann aber erneut ausgespült. Der an den Wänden herabfließende Regen riß nun dauernd Stücke des Lehms mit hinunter; wo aber ein Block den darunterliegenden Lehm vor der Abtragung schützte, entstand eine Kulisse oder ein Pfeiler. Die Erdpyramiden stehen zu Hunderten am Ritten bei Bozen und am Schloß Tirol bei Meran, man kann das allmähliche Herauswachsen aus den Lehmwänden sehr deutlich beobachten. Die Erdpyramiden erheben sich bis zu 30 m Höhe; Miniaturausgaben von ihnen sieht man allenthalben an lehmigen Böschungen nach jedem Regenguß. Steinchen schützen auch hier den weichen Untergrund und sitzen deshalb auf wie Pilze kleinen Stielchen oberhalb ihrer Nachbarschaft.

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 216. Harte Felsen widerstehen der Abtragung und bilden Pfeiler. Die Spille bei Zabern.

Das Grundwasser. Von den Niederschlägen, die auf unsere Erde fallen, fließt etwa ein Drittel sofort oberflächlich ab, ein Drittel verdunstet, und ein letztes sickert in den Boden ein, um später an anderer Stelle wieder zutage zu treten.

Es gibt keine einzige Bodenart, in die nicht das Wasser — wenn auch nur in einem geringen Grade — einzudringen imstande wäre. Das Einsickerungsvermögen ist abhängig von der Wasserdurchlässigkeit des betreffenden Gesteins, die ihrerseits wiederum durch winzige Poren und feine Haarspalten bedingt wird.

Diese finden sich in jedem Gestein; ist es doch sogar möglich, Flüssigkeiten durch Achat zu pressen. Die Gesteine bieten dem Wasser aber auch auf bequemen Straßen einen Weg: die Sedimente auf ihren Schichtfugen, die Ausbruchsgesteine auf ihren Absonderungsflächen. All das Wasser, welches den Fels durchsetzt, wird als Bergfeuchtigkeit bezeichnet. Jeder Steinbruch, den wir auf unseren Wanderungen betreten, verdeutlicht sie uns. In unzähligen Tröpfchen rieselt es da am Hang, tropft von Steinzacke zu Steinzacke oder überzieht wenigstens die Felsen mit einer glänzend feuchten Schicht.

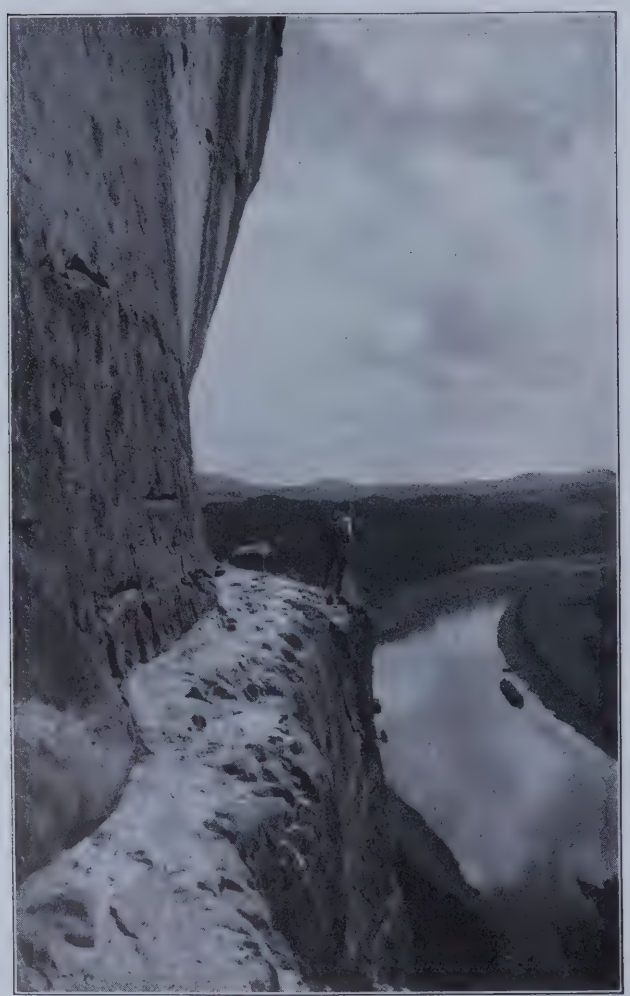


Abb. 217. Ein Felsband in der Sächsischen Schweiz, unweit der Bastei. Bänder und Felssimse haben namentlich in den Alpen für die Hochtouristik eine große Bedeutung.

Naturgemäß wird derjenige Boden, welcher sich aus lockersten Massen zusammensetzt, auch am ehesten das Wasser eindringen lassen. Alle Geröllmassen und Kieslagen sind deshalb ungemein durchlässig. Auch Sandstein, selbst in der Form des Quaderfelsens, ist für die Wassertröpfchen leicht zu durchrieseln; der Sand liefert einen natürlichen Filter, der wohl die Schmutzteilchen zurückhält, dem klaren Wasser jedoch den Durchtritt gestattet. Leicht durchdrungen werden fernerhin die Kalke und Dolomite, schwer dagegen alle tonigen Bildungen. Schon der fette Ackerboden durchtränkt sich mit Wasser derartig stark, daß selbst heftige Regengüsse nicht tiefer als etwa $^1/_2$ m einzudringen vermögen, und die Undurchlässigkeit nimmt in gleichem Maße mit dem Tongehalt zu.

Nun wechseln aber auf unserer Erde die Schichten ständig ab; in bunter Reihe folgen auf durchlässige wieder undurchlässige. Wenn also unter lockeren Gesteinen eine wasserundurchlässige Schicht liegt, wird sich das Sickerwasser über dieser sammeln und — soweit die Lagerung des Gesteins es gestattet — darüber

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 218. Großes Karrenfeld im Kalk des Steinernen Meeres zwischen Königsee und Saalfelden i. Tirol. Die Rinnen sind oft mehrere Meter tief.

Abb. 219. Erdpyramiden am Schloß Tirol bei Meran.
Die Pfeiler sind aus der Lehmwand durch den Regen herausgelöst worden. Die auf ihrer Spitze lagernden Felsblöcke verhüten ihre schnelle Abtragung.

ausbreiten. Eine solche flächenhafte Anhäufung von Sickerwasser bezeichnen wir als Grundwasser.

In den Karstgebieten fehlt — wenigstens soweit wir es bis jetzt beurteilen können — das Grundwasser vollständig. Hier herrscht auf Grund von klimatischen und petrographischen Verhältnissen eine wesentlich andere Wasserzirkulation im Inneren der Erde. Das Niederschlagswasser dringt durch die Karren und Schratten des nackten Kalkgesteins ein, durchsetzt es in unzähligen Klüften, Rissen und Spalten, fließt in unterirdischen Strudeln, Röhren, Labyrinthen, Gängen, kommt wohl auch einmal als Strom ans Tageslicht, um nach kurzem Lauf wieder vom Felsen verschluckt zu werden — aber ein eigentliches, zusammenhängendes Grundwasser fehlt (Abb. 221 und 222).

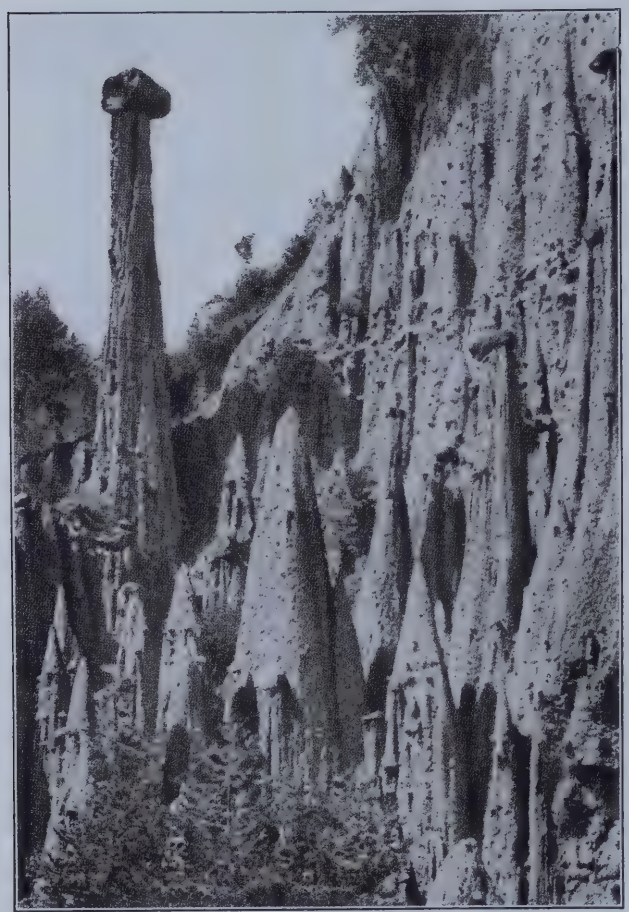


Abb. 220. Erdpyramiden am Ritten bei Bozen. Wie Kulissen treten die Pfeiler aus der Lehmwand heraus. Hunderte solcher Erdpyramiden stehen häufig dicht beieinander.

Das Gegenstück hierzu bieten die alluvialen und diluvialen Bildungen, wie die Schwäbisch-bayerische Hochebene, das Rheintal oder die Poebene, Gegenden, in welchen man überaus reichliches Grundwasser nachgewiesen hat. Sein Stand wechselt nach den jeweiligen Niederschlägen und kann am leichtesten immer an den Brunnen beobachtet werden, deren Wasserspiegel ja auch gleichzeitig der Grundwasserspiegel ist.

Für das Grundwasser gelten dieselben Bewegungsgesetze wie für die oberflächlichen Gewässer. Nur ist die Geschwindigkeit der Fortbewegung naturgemäß viel geringer, weil der Reibungswiderstand im Innern der Erde bei weitem größer ist als auf der Erdoberfläche. Slichter fand, daß sich das Wasser im Sande während eines Tages um ungefähr 4,4 m, in losen Schottern dagegen um 17,4 m fortbewegt. Das Höchstmaß der Fließgeschwindigkeit hat man in ganz lockeren Geröllmassen gefunden; es betrug etwa 3 m in der Stunde.

Der Grundwasserspiegel bildet nun keineswegs eine glatte, ebene Fläche, sondern er paßt sich den Formen des Bodenreliefs an. Unter Hügeln und Bergen hebt er sich, um sich unter Tälern wieder einzusenken. Auf diese Weise kommen auch direkte Fließbewegungen zustande, und es läßt sich ebenso wie eine oberflächliche, auch eine Wasserscheide des Grundwassers feststellen; denn unter Bergen fließt das Grundwasser nach beiden Seiten ab. Interessant wird dieses Verhalten am Meeresstrand: hier entsteht häufig ein Strom, der sich von der Düne herab zum Gestade hin bewegt. Dadurch erklärt sich auch das Vorkommen süßen Wassers im Strandgebiet und auf den mitten im Ozean gelegenen Koralleninseln.

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 221. Ein typisches Karrenfeld im Triestiner Karst (bei Opcina). Rechts im Hintergrunde eine Doline mit dichtem Buschbestand.

In neuerer Zeit hat man sogar versucht, die Menge des in der Erde zirkulierenden Wassers zu schätzen. Wenn nach Delesse angenommen wird, daß das Wasser bis etwa 18,5 km Tiefe hinabreiche und durchschnittlich 5% des Gesteins ausmache, so ergibt sich als Gesamtmenge des Sickerwassers 1278400000 cbkm gegenüber dem Gesamtinhalt der Ozeane von 1284765000 cbkm.

Die Quelle. Stellen wir uns einmal vor, die wasserführende Geröllschicht sei in geringer Tiefe — wie das bei diluvialen Bildungen auch tatsächlich recht häufig zu beobachten ist — von einer undurchlässigen, leichtgewellten Tonschicht unterlagert. Finden sich dann in der Landschaft kleine Einsenkungen, deren Boden tiefer liegt als der Spiegel des Grundwassers, so müssen diese mit Grundwasser angefüllt sein. Die zahllosen Tümpel, Teiche und Seen der russischen Ostseeprovinzen sind zum Beispiel Grundwasserauffüllungen mehr oder weniger großer Bodensenken. In gleicher Weise entstehen auch, wenn dicht unter der Erdoberfläche eine horizontal gelagerte, undurchlässige Grenzschicht liegt, Sumpf- und Moorbildungen.

Ein anderer Teil des Grundwassers tritt in den Stromgebieten zutage, und gewaltige Mengen des im Erdinnern kreisenden Wassers werden beständig dem Meere zugeführt, da der Grundwasserspiegel in den Küstengebieten unter den des Meeres untertaucht.

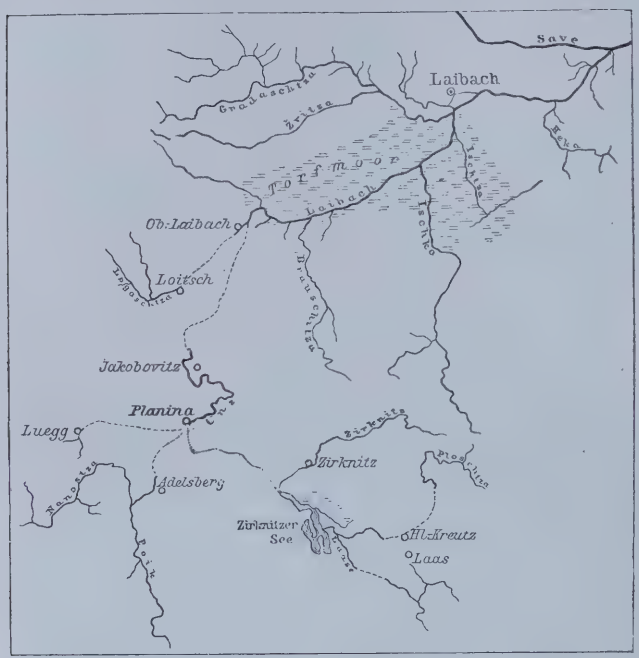


Abb. 222. Karte des Karstgebietes mit den unterirdischen (punktiert gezeichneten) Flußläufen.

Von größerer Wichtigkeit ist aber das Zutagetreten des Grundwassers in den Quellen, von denen es eine große Anzahl verschiedener Formen gibt.

Am einfachsten liegen die Verhältnisse in den reinen Grundwasserquellen. Wird etwa von einem Fluß nicht nur der Schotterboden, sondern auch die unter diesem liegende wasserundurchlässige Schicht durchsägt, so müssen in einem solchen Tale an beiden Hängen Quellen zutage treten, weil der Grundwasserspiegel angeschnitten ist.

Zu den Quellen, die ihren Ursprung nicht dem Grundwasser allein verdanken, gehören die Kluftwasserquellen. In jedem Gestein befinden sich mehr oder weniger Klüfte, Risse, Höhlungen und Spalten, deren Entstehung zum Teil auf Verwerfungen und Brüche, zum Teil aber auch auf die chemische Umsetzung und Auflösung des Gesteins zurückzuführen ist, und die vom rinnenden Wasser durchsickert werden, bis dieses auf eine undurchlässige Schicht trifft, die ein weiteres Vordringen unmöglich macht.

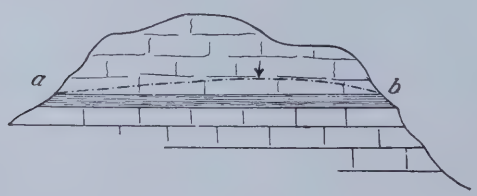


Abb. 223. Grundwasserspiegel über einer undurchlässigen Schicht. Bei a und b bildet das Grundwasser Quellen.

Während hier lediglich petrographische Unterschiede maßgebend sind, wird die Quellbildung in vielen Fällen auch durch tektonische Eigenarten des Untergrundes bedingt. So entstehen oftmals an Verwerfungsspalten, die weit genug hinabreichen, kleine Quellwässer; auch Aufbiegungen der undurchlässigen Schicht können, wenn ihr Sattel fast vom oberflächlichen Hang angeschnitten wird, Ursache für ganz unerwartete Quellen werden.

Recht interessant sind auch die Schichtwasserquellen, welche das zutagetreten von Quellwasser hoch oben in den Bergen erklären. Ihr Vorhandensein

ist stets an Faltungen oder andere Dislokationen gebunden, ihren Namen führen sie, weil es immer nur eine einzige Schicht ist, die den Regen auf dem Gipfel oder irgendwo am Hang auffängt und ihn quer durch das Gebirge leitet, um ihn weiter unten als Quellbach wieder abzugeben. Damit dies möglich ist, muß die Schicht selbst wasserdurchlässig, ihr Nachbargestein dagegen vollkommen undurchlässig sein; sie wirkt demnach wie ein Rohr, aus dem die Rinnsale seitlich nicht austreten können.

Weitaus die interessantesten Quellen sind aber die Artesischen Brunnen, genannt nach der Grafschaft Artois in Flandern. Die Hauptbedingung für ihr

Abb. 224. Ein Trockental in der Wüste. Nach einem Regen bilden sich reißende Ströme, die bald darauf wieder vollständig versiegen.

Zustandekommen sind Schichtmulden, die sich aus abwechselnd durchlässigem und undurchlässigem Gestein zusammensetzen. Von den Schichtköpfen wird das Wasser am Rand der Mulden aufgenommen und fließt bis zum tiefsten Stand hinab, wo es dann unter ziemlich hohem Druck steht. Werden nun die wasserhaltenden Schichten angebohrt, so dringt das Wasser in starkem Strahl durch die künstliche Röhre an die Oberfläche empor. Die Bewohnbarkeit der nordafrikanischen Wüste und mancher Teile Chinas ist nur durch Bohrung artesischer Brunnen ermöglicht worden (Abb. 225).

Nachdem wir die Abhängigkeit der Quellen von dem Untergrund kennen gelernt haben, können wir noch etwas weiter gehen. Wir können nämlich rein aus dem tektonischen Aufbau eines Tales unbedingt zutreffende Schlüsse auf

seine Quellführung ziehen. Ein paar Beispiele mögen dies erläutern. Haben wir ein Tal, das in horizontal gelagerte Schichten eingesenkt ist, von denen wasserführende durch wasserundurchlässige unterlagert werden, so muß sich auf beiden Talseiten in annähernd gleicher Höhe ein Quellhorizont finden. Ganz anders aber wird es, wenn die betreffenden Schichten durch gebirgsbildende Vorgänge eine nachträgliche Verlagerung erfahren haben. Durchschneidet beispielsweise ein Tal auf beiden Seiten gleichgeneigte Schichten, dann können Quellen nur auf dem einen Hang auftreten, da auf der gegenüberliegenden Seite die Neigung der wasserführenden Schicht von der Talung wegführt. Eine solche Einseitigkeit der Quellführung läßt sich bei recht vielen Tälern beobachten, weil ja die Gesteinsschichten fast immer eine gewisse Neigung zeigen. Praktisch ist diese Eigentümlichkeit von größter Wichtigkeit, da sowohl Landstraßen wie vor allem Eisenbahnen stets an der trockenen Seite angelegt werden müssen, um Rutschungen oder kostspielige Brückenbauten als Vorkehrung dagegen zu vermeiden.

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 225. Oase in Tunis.
Ihr Wasserreichtum bedingt üppiges Wachstum.

Handelt es sich um ein Tal, das in einen Sattel eingesenkt ist, dann fehlen die Quellen vollständig. Solche Antiklinaltäler sind bezeichnend für den Schweizer Jura; häufig sind zwei Täler durch ein Durchbruchstal verbunden. Während im

Muldenlängstal nun von beiden Hängen her, der Schichtenneigung folgend, die Sickerwässer in das offene Tal hinaustreten, ist dies in den Quertälern unmöglich: sogar das Niederschlagswasser, welches auf die seitlichen Hänge fällt, wird dem Talboden entzogen und rinnt längs den Schichtfugen in den Berg hinein.

Die Wasserführung einer Quelle hängt von der Niederschlagsmenge ab. Da diese aber nicht konstant ist, sondern sowohl jährlich wie auch jahreszeitlich wechselt, so ergeben sich auch für die Quellen die gleichen Schwankungen in ihrer Wasserführung. Im extremsten Falle verdeutlichen uns dies die sogenannten Hungerquellen, die in nassen Jahren sehr reichlich fließen, in trockenen dagegen vollkommen versiegen. So zeigen sie durch das Zuviel so gut wie durch das Zuwenig Mißwuchs und Hungersnot an.

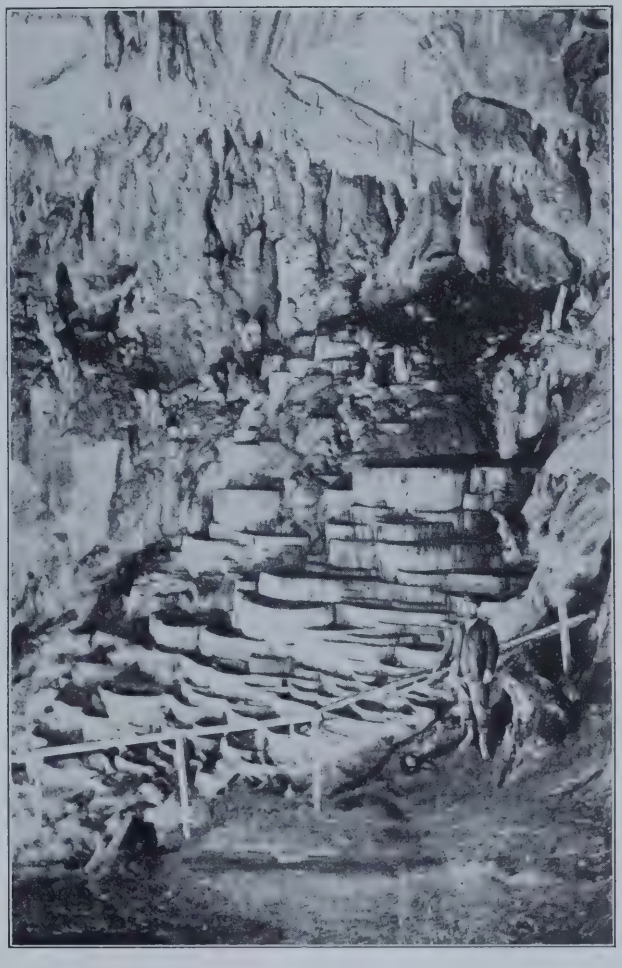


Abb. 226. Kalksinterbildungen in der Grotte von St. Canzian im Karst.

Diese Abhängigkeit der Wasserführung von der Niederschlagsmenge wird nun, was ja auch nicht weiter wundernimmt, nach der Tiefe hin immer mehr verwischt. Quellen, die aus größerer Tiefe kommen, fließen deshalb das ganze Jahr über ziemlich regelmäßig. Ebenso hängen die Kluftquellen viel weniger von diesen Faktoren ab, weil sie ihr Wasser einem bei weitem größeren Gebiet entnehmen. Sie haben gerade aus diesem Grunde zumeist auch eine starke Wasserführung. Die Karstquellen Istriens, die Vaucluse in der Gegend von Avignon, die der Sorgne den Ursprung gibt, der bekannte Blautopf von Blaubeuren, der mit mächtigem Strom aus den Spalten des Jurakalkes hervortritt, sind bezeichnende Beispiele dafür.

Wie weit das Ursprungsgebiet von der Quelle entfernt sein kann, lehren uns die Verhältnisse der Oasen des nördlichen Afrikas. Das Wasser ihrer Brunnen

stammt aus dem regenreichen Sudan. Von dort wird es in der Schicht des nubischen Sandsteins bis in die Oasengegend geleitet, wo es sich plötzlich aufstaut, da die Schichten sich hier wieder langsam erheben. Unter dem Oasengürtel liegt also ein unterirdisches, natürliches Staubecken, aus dem das lebenspendende Wasser entnommen wird.

Die Quellen hat man nicht nur nach ihrem Bau und nach ihrer Entstehung, sondern auch nach ihren physikalischen und chemischen Eigentümlichkeiten eingeteilt und hat zunächst einmal kalte und warme Quellen unterschieden. Da

Abb. 227. Die Kieselsinter-Terrassen von Rotomahana auf Neuseeland.
(1886 durch Erdbeben zerstört.)

aber die Begriffe „kalt" und „warm" bloß relativ sind, wurde eine äußere Grenze festgesetzt. Eine Quelle wird danach als kalt bezeichnet, wenn ihre Wassertemperatur unter der Jahresdurchschnittstemperatur des Mündungsortes liegt, als warm, wenn sie über dieser liegt. Die mittlere Jahrestemperatur liegt aber für München bei 9° C, für Rigi-Kaltbad bei 6,3° und für Manila bei 21° C. Eine Quelle, deren durchschnittliche Wassertemperatur etwa 8 Grad beträgt, wird für Münchener Verhältnisse als kalt bezeichnet werden müssen, wäre aber für Rigi-Kaltbad, wenn man sie dorthin verlegen könnte, warm.

Die Temperatur der Quellen ist abhängig von der Temperatur der Niederschläge und derjenigen des durchlaufenen Gesteins. Namentlich diese letzte Tatsache ist von außerordentlicher Wichtigkeit, obgleich er oftmals außer acht gelassen wird.

Dies lehren uns die Quellen von Gastein und Bormio. Beide Orte liegen etwa 1000 m hoch, und ihre Quellen werden von dem Firn der benachbarten Schneegipfel gespeist. Trotzdem ist die Temperatur ihres Wassers sehr hoch, weil die Sickerströme vor ihrem Austritt erst einen weiten Weg durch das Innere des Berges gemacht haben und dabei vom warmen Gestein kräftig angeheizt wurden.

Wenn wir im gewöhnlichen Leben von warmen Quellen oder von Thermen sprechen, so schränken wir den Begriff allerdings etwas mehr ein, als es oben geschehen ist. Wir nennen eine Quelle warm, wenn ihr Wasser eine Temperatur über 30° hat. Allerdings ist auch diese Zahl nicht willkürlich gewählt, sondern eine geographische Ziffer; denn sie bedeutet das höchste thermische Jahresmittel im Meeresniveau. Von dieser Temperatur ansteigend, haben wir ungefähr alle Gradabstufungen in der Natur vertreten:

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 228. Schneeerfüllte Doline auf dem Untersberg bei Berchtesgaden, dessen ödes Kalkplateau zahlreiche Karsterscheinungen aufweist.

Soffioni in Toskana 100° (Dampfquelle)
Liparische Inseln 97—100°
Ischia 90°
Nerobäder bei Pozzuoli 86°
Karlsbad 74°
Gastein 71°
Wiesbaden 69°
Baden-Baden 67°
Aachen 55°
Leuckerbad 51°
Teplitz 49°
Warmbrunn 32°.

Ziemlich viele Thermen, auch die meisten der oben erwähnten, sind vulkanischen Ursprungs. Sie stammen entweder aus dem warmen Sickerwasser in der Nähe des Magmaofens oder aus kondensierten Wasserdampfexhalationen.

Eine andere Klassifikation unterscheidet die Quellen nach ihrem Gehalt an Mineralstoffen, auf dem ja auch ihre Heilkraft beruht. Besonders wichtig sind die folgenden Arten von Heilquellen:

Alkalische Quellen (Na_2CO_3 und $CaCO_3$): Teplitz, Karlsbad, Ems, Spa, Pfäfers.
Salz- (Sol-)quellen NaCl (+ J und Br): Wiesbaden, Kreuznach.
Stahlquellen ($FeCO_3$): St. Moritz, Bad Steben, Pyrmont.
Schwefelquellen (H_2S, CaS + Na_2S): Warmbrunn, Aachen.
Bittersalzquelle ($MgSO_4$, Na_2SO_4): Hunyadi Quelle.
Sulfatquelle: Marienbader Kreuzbrunnen.

Kühlt sich das Wasser nach seinem Austritt an die Erdoberfläche ab, so müssen sich die gelösten Mineralien wieder mehr oder weniger abscheiden. Genau dasselbe geschieht natürlich auch, wenn das Wasser an der freien Luft verdunstet; die Lösung wird dabei konzentrierter, und wenn der für die betreffende Temperatur geltende Sättigungsgrad erreicht ist, muß ein Teil der Salze zum Absatz kommen. Ganz besonders wird aber diese Sinterbildung noch durch Wasserpflanzen, hauptsächlich kleine Süßwasseralgen, befördert. Sie entnehmen die zur Assimilation nötige Kohlensäure dem Wasser, dieses verliert dadurch mehr und mehr seinen sauren Charakter und die Fähigkeit, Salze in Lösung zu halten, und setzt sie im Umkreis ab.

Abb. 229. Blick in die Dolinen von St. Canzian im Karst. Unten bricht die Reka aus einem Felsenspalt hervor.

Am bekanntesten sind die Kalksinter, die man nach einem verstümmelten italienischen Ausdruck (Tiburtinus) auch mit dem Namen „Travertin" belegt. Sehr schön und bis zu 150 m Mächtigkeit sind sie an den Fällen des Arno bei Tivoli entwickelt. Noch großartiger, wenn auch dem Fremdenverkehr weniger zugänglich als diese Fälle in der Nähe des ewigen Roms, sind die Ablagerungen auf dem Pambuk-Kalesiplateau in Kleinasien. Im kleinen können wir solche Travertine in unserer Heimat an allen Bächen beobachten, die über kalkige Schichten hinwegfließen.

Hierhin gehören ferner die Sprudel- oder Erbsensteine (Pisolithe) von Karlsbad, die aus lauter kleinen Aragonitkügelchen bestehen, und die Kieselsinterablagerungen, wie sie sich in der wundervollsten Ausbildung im Yellowstone-Park und auf Neuseeland finden (Abb. 227). Das in den Boden eingesickerte Wasser löst nun zum Teil das Gestein auf, und es entstehen breite Klüfte und große Höhlen. Besonders großartig sind die Erscheinungen in den Karstgebieten Istriens und Dalmatiens. Als trichterförmige Einsenkungen von verschiedenem Ausmaß treten hier die Dolinen auf. Ihr Durchmesser schwankt zwischen 20 und 120 Metern, ihre Tiefe kann 20 und mehr Meter betragen. Da auf ihrem Boden der Verwitterungslehm der Terra rossa zusammengespült ist, bilden sie häufig die einzelnen Stellen, an denen die Bewohner etwas Ackerbau treiben können. Mitunter treten sie in großer Anzahl nebeneinander auf; da sie zumeist von zusammengetragenen Steinhaufen umgürtet sind, schaffen sie ein seltsames Landschaftsbild (Abb. 221 und 228).

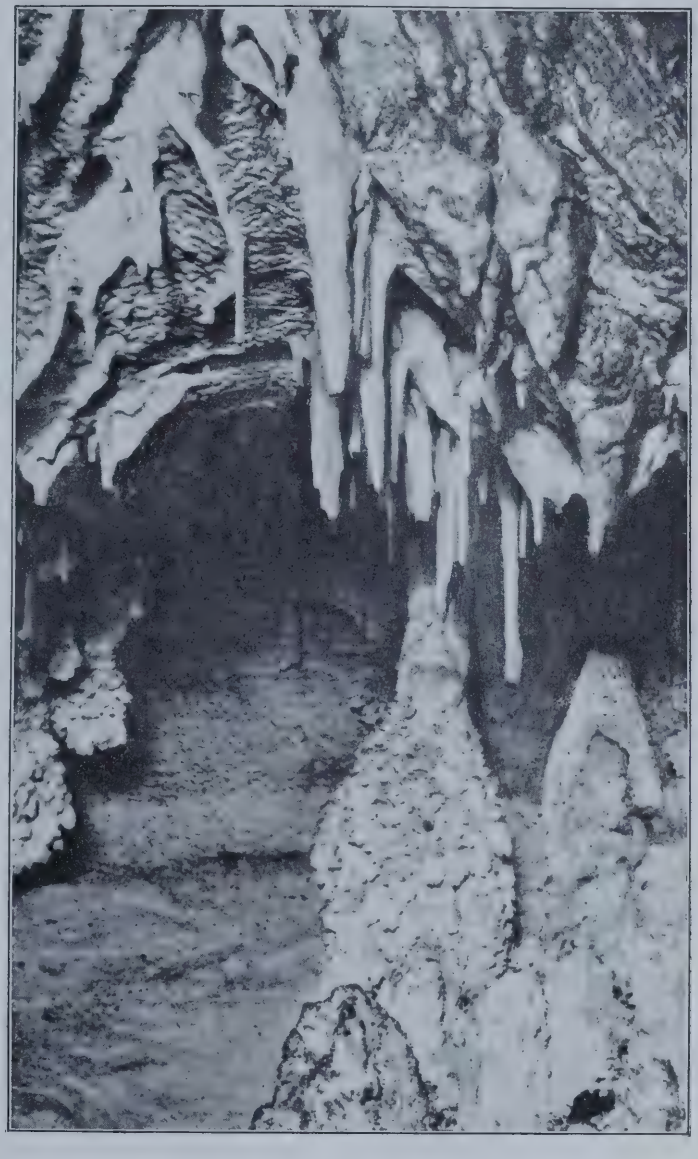


Abb. 230. Die sog. Kristallkammer in der Hermannshöhle bei Rübeland mit schönen Stalaktiten.

Oftmals findet sich am Grund einer Doline auch der Eingang zu einem weitverzweigten Höhlensystem. Der ganze Karst ist von einem Gewirr unterirdischer Gänge durchsetzt, durch welche das Regenwasser hindurchfließt, das

wegen des Fehlens einer Pflanzendecke von dem öden Kalkboden förmlich aufgesogen wird. Von der Existenz dieser unterirdischen Ströme erfährt man nur dann etwas, wenn zufällig, durch eine Spalte etwa, ein Teil des unterirdischen Weges freigelegt wird. Die Poik zum Beispiel fließt in einem anmutigen Wiesental, um plötzlich von einer Öffnung im Felsen verschluckt zu werden. In der berühmten Adelsberger Grotte kann man ihren Lauf noch einige Kilometer weit verfolgen, dann verschwindet sie in unbekannte Tiefen. Ähnlich verhält es sich mit der Reka, die bei St. Canzian am Grunde eines 150 m tiefen Bodenrisses aus den Felsen bricht, durch einige Strudel schäumt und dann wieder in die Unterwelt eintaucht. Viele Kilometer entfernt kommt sie dann wieder ans Tageslicht und wird auf ihrem kurzen Lauf bis zum Adriatischen Meer Timavo genannt (Abb. 229).

Für die Höhlenforschung gibt es kaum ein dankbareres Gebiet als den Karst. Abgesehen von den auf große Strecken hin zugänglich gemachten Grotten von Adelsberg und St. Canzian gibt es mehrere hundert Höhlen, in die man wenigstens ein Stück weit eindringen kann. Je leichter zerstörbar ein Gestein ist, um so eher finden sich in ihm Höhlen. Kalkhöhlen treten in Deutschland besonders im Frankenjura (Bing-Höhle) und im Harz (Hermannshöhle, Baumannshöhle) auf. Viele dieser Kalksteinhöhlen sind durch Tropfsteinbildungen ausgezeichnet, die dadurch entstehen, daß die durch die Decke hindurchtretenden, mit Kalk gesättigten Wassertropfen beim Verdunsten ihren Kalk abscheiden. So wachsen allmählich an der Decke die nach unten hängenden Stalaktiten, während ihnen vom Boden her, wo der niederfallende Tropfen Kalk abgesetzt hat, die breiteren Stalagmiten entgegenstreben. Im Laufe der Jahrhunderte wachsen schließlich beide zusammen, und es entstehen Pfeiler oder Säulen und all jene seltsamen und bizarren Formen, die dann von den Höhlenführern mit ebenso phantastischen Namen belegt werden. Besonders schön sind die Tropfsteinbildungen in der Adelsberger Grotte und in einigen Abschnitten der Hermannshöhle bei Rübeland im Harz (Abb. 230).

Ebenfalls sehr höhlenreich sind Gipsgebiete, wie diejenigen am Südrand des Harzes. Hier liegen die erst kürzlich erschlossene Riesengrotte von Ufstrungen (bei Berga-Kelbra) und die Kyffhäuserhöhle. An gewissen Stellen hat das Sickerwasser Gips in Kristallen, also als Marienglas, ausgeschieden, so daß die Wände im Licht der Fackeln oder Lampen in allen Reflexen leuchten.

Wie die Höhlen, so gehen auch die Bergstürze auf die Wirkung des unterirdisch rieselnden Wassers zurück, wenn hier auch noch andere Ursachen, so die Neigung des Gesteins, das Anschneiden des Gehänges durch Flüsse oder künstliche Bauten, mitsprechen. Der einfachste, wenn auch seltenste Fall eines Bergsturzes ist durch das Abgleiten eines isolierten Felskegels auf geneigter Unterlage gegeben, wie er im Brentagebiet der Alpen vorgekommen ist, wo man $1^1/_2$ Stunden weit über ein Trümmerfeld aufsteigen muß, um zum Fels zu gelangen. Häufiger ist das Ausbrechen und Abgleiten einzelner Ausschnitte einer Bergmasse, deren Absturz erfolgt, nachdem sich Risse gebildet und immer mehr vertieft haben. Dabei hat man, wie bei Lawinen, das Abrißgebiet, die Sturzbahn und das Ablagerungsgebiet zu unterscheiden (Abb. 231 bis 233 sowie Tafel XVII).

phot. Wehrli A.-G., Zürich.

Abb. 231. Das riesige Bergsturzgebiet von Flims, durch das sich der Rhein seinen Weg gegraben hat. Prallhang und Gleithang, Schuttkegel und Sandbänke sind deutlich ausgebildet.

Die meisten Bergstürze ereignen sich im Frühjahr, zur Schneeschmelze, wenn der stark durchfeuchtete Boden das Abgleiten der Felsmassen erleichtert. Knarrende Geräusche in der Erde und starker Steinschlag leiten die Katastrophe ein, bei der

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 232. Der Dohlenstein bei Kahla an der Saale, ein ausgedehntes Bergsturzgebiet im Muschelkalk Thüringens.

bisweilen viele Millionen Kubikmeter Gestein zu Tal stürzen und sich weit ausbreiten. Ein kleiner, vor einigen Jahren niedergegangener Bergsturz findet sich oberhalb der Angerhütte und wird beim Anstieg zur Knorrhütte an der Zugspitze gequert.

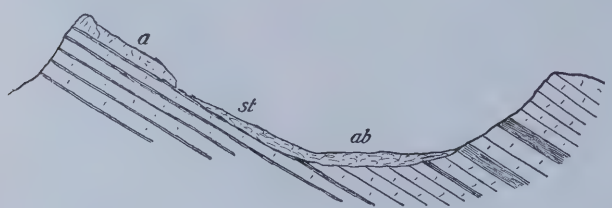


Abb. 233. Schema eines Bergsturzgebietes.
a Abrißgebiet, st Sturzbahn, ab Ablagerungsgebiet.

Am meisten von Bergstürzen wird indessen das Gebiet des Apennin heimgesucht, wo Kalkmassen auf durchfeuchteten Tonen abgleiten. In jedem Frühjahr lesen wir von Katastrophen, denen bisweilen ganze Dörfer zum Opfer fallen.

Große Bergstürze in historischer Zeit fanden am Rigi (1806) statt, wo 15 Millionen Kubikmeter Gestein zu Tal stürzten und drei Dörfer mit 455 Einwohnern verschüttet wurden. Die gewaltigste Katastrophe aber riß im Jahre 1348 den ganzen Südabhang des Dobratsch bei Villach in Kärnten ab und fegte die Trümmer drei Kilometer weit ins Tal.

Der Abt Floriamundus soll von dem Kloster Arnoldstein aus, das tatsächlich verschont geblieben ist, den Sturz beobachtet haben. Merians Austria sacra:

Die drei Zinnen in den Dolomiten.
Aus gewaltigen Schuttmassen, die bei der Verwitterung der Gesteine entstanden sind, ragen die bizarren Felszinnen hervor.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

„Floriamundus war ein frommer Prälat, der im Jahre 1348, den 25. Jänner, eben am Tage der Bekehrung St. Pauls, um die Vesperzeit und bei hell scheinender Sonne, gleich darauf aber bei mit finsterem Gewölk überzogenem Firmamente ein entsetzliches und von den Zeiten des Leidens unseres Herrn noch nie gehörtes, weder bis dahin gefühltes Erdbeben auf des Klosters eigentümlichem Distrikte erleben, fühlen und endlich selbst schauen mußte. Denn der Berg Dobratsch an der Villacher Alpe, gerade von dem nur eine Stunde weit entfernten Kloster gegenüber und auf der mitternächtigen Seite zerbarstete plötzlich so gewaltig, daß er 17 Dörfer, 3 Schlösser und 9 Kirchen im Schutte begrub. Das Klostergebäude litt dabei nicht wenig, und man sah von dieser entsetzlichen Spaltung bei zwo Spannen hoch Staub selbst im Kloster liegen; in den Wäldern aber Bäume an Bäume gewaltig schlagen; die Glocken an den Türmen hörte man insgesamt von selbst ertönen und allerseits nichts als Jammer und Wehklagen. So war alles ertattert und gleichsam außer sich in Meinung, es wäre der jüngste Tag vor Augen. Was das Elend erst meist empfindlich und ganz unvergeßlich machte, war, daß weil der Absturz des Berges auch selbst den Gailfluß etliche Tage in seinem Lauf gehemmt, der gewaltige Ausbruch des so aufgetürmten Wassers alles noch Lebende überschwemmte und ertränkte, sonst aber unbeschreiblichen Verlust hinterließ. Auf dies in ganz Deutschland herum verwüstende Erdbeben kam die fast allgemeine Pest."

Im Laufe der Zeiten begrünt sich das Trümmerfeld eines Bergsturzes und tritt dann nicht mehr so deutlich in die Erscheinung. Dies zeigt uns das riesige Bergsturzgebiet des unteren Ötztales, über deren Blöcke man hinwegsteigen muß, wenn man von der Station Ötztal nach Ötz wandert. Fast die Hälfte des breiten Tales besteht aus Ablagerungen von Bergstürzen, die auch am Hang gegenüber von Ötz den Piburger See aufgestaut haben.

Bergstürze in kleinerem Maßstabe lassen sich in den Alpen häufig beobachten; sie sind typisch für das Hochgebirge. Wenn sie sich, wie am Dohlenstein bei Kahla an der Saale, in der Mittelgebirgslandschaft finden, so sind meist tektonische Verhältnisse, wie Verwerfungen oder Brüche, die Ursache (Abb. 232).

b) Die Bewegung des Wassers in den Flüssen.

Das Fließen ist, physikalisch gesprochen, ein Fallen auf der schiefen Ebene, bei dem allerdings die Beschleunigung durch den Reibungswiderstand mehr oder weniger wieder aufgehoben wird. Die Reibung wird durch verschiedene Ursachen hervorgerufen. Erstens durch das Flußbett und seine Unregelmäßigkeiten, zweitens durch den Widerstand, den die Luft dem dahineilenden Wasser entgegensetzt, drittens durch die Hemmung der seitlichen Ufer und zuletzt durch das Wasser selbst.

Je größer die Wassermenge ist, um so eher können bei gleichbleibendem Flußbett und Gefälle diese Hindernisse überwunden werden. Demnach ist die Fließgeschwindigkeit abhängig von der Wasserführung. Die Geschwindigkeit des Rheins bei Straßburg z. B. beträgt:

bei Niedrigwasser 1,5 m/sek,
bei Mittelwasser 2,15 m/sek,
bei Hochwasser 2,85 m/sek.

Das Gefälle wiederum ist direkt proportional der Fließgeschwindigkeit; dagegen wird mit breiter werdendem Bett wegen der nun größeren Oberfläche der Reibungswiderstand wachsen und das Wasser bei gleichbleibendem Gefälle langsamer zu Tal fließen.

Das gleiche können wir im Flußbett selbst auch noch einmal konstatieren. Je näher sich ein Wasserteilchen dem Ufer befindet, desto größer ist der Reibungswiderstand, den es an den Wänden erfährt, desto langsamer wird also sein Lauf erfolgen. Nach der Mitte des Stromes zu wird aber die Geschwindigkeit der Wasserteilchen immer größer werden. Aus demselben Grunde nimmt die Reibung vom Boden des Flusses nach dem Wasserspiegel dauernd ab und ist am kleinsten ein wenig unterhalb der Oberfläche, also dort, wo sich die Reibung des Wassers an der Luft noch nicht bemerkbar macht. Die Linie, welche alle Punkte größter Fließgeschwindigkeit verbindet, wird als Stromstrich bezeichnet; dieser befindet sich stets über der tiefsten Wasserrinne, über dem sogenannten Talweg. Wenn ein Fluß einen ganz geraden Lauf haben könnte, so würde der Stromstrich ebenfalls eine gerade Linie bilden. Da aber der Lauf vielfach gewunden ist, läuft auch der Stromstrich in Kurven, wobei er sich immer noch ein wenig der konkaven Seite nähert.

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 234. Die Stromschnellen des Niagara.
Das Wasser steht in der Mitte höher als an den Rändern.

Übrigens ergibt sich auch aus der ungleichen Verteilung der Geschwindigkeit die interessante Tatsache, daß der Wasserspiegel eines Flusses keine ebene, sondern eine gekrümmte Fläche darstellt. Das wird vor allem deutlich, wenn man Hochwasser und Mittelwasser miteinander vergleicht. Bei Hochwassereintritt wird der Mitte das meiste Wasser zugeführt, der Spiegel wird konvex und senkt sich nach den Ufern hin ein; geht das Hochwasser wieder zurück, so wird andererseits von der Mitte des Flusses mehr Wasser weggeführt als von den seitlichen Rändern,

und der Wasserspiegel senkt sich ein. Messungen haben ergeben, daß diese Schwankungen am Mississippi die Höhe von 2 m erreichen können.

Eine besondere Modifizierung erhält das Fließen dann, wenn sich seitliche Vorsprünge oder Hindernisse irgendwelcher Art der Richtung entgegenstellen. Sie erzeugen Wirbelbewegungen, und zwar sowohl vor wie auch hinter dem betreffenden Hindernis, welche einen Teil des Wassers in eine kreisläufige Bewegung versetzen.

Die vergleichende Bestimmung der Fließgeschwindigkeiten hat vor allem für die Wasserbautechnik große Bedeutung. Die Geschwindigkeit beträgt für Niederungs-

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 235. Bachbett im Muschelkalk bei Jena.
Im Sommer ist das Bachbett ausgetrocknet; das Wasser steht nur in einzelnen tieferen Stellen, die hinter Gesteinsstufen ausgehöhlt wurden.

flüsse durchschnittlich 0,3—0,5 m/sek; der Ganges, der Nil, der Rhein in der Straßburger Gegend haben eine solche von 1,5 m, die sich dann bei Hochwasser verdoppeln, ja verdreifachen kann.

Die Wasserführung selbst ist sehr schwankend, da sie von den Niederschlägen und einigen Sondererscheinungen (Schneeschmelze, Wolkenbruch, Trockenheit) abhängt. An Gletscherflüssen kann man selbst Tagesschwankungen feststellen.

Wenn man das Querprofil oder den „benetzten Umfang" einerseits und die Geschwindigkeit des Stromes andererseits kennt, läßt sich aus dem Produkt unschwer die Stromstärke feststellen. Die mittlere Stromstärke muß dann aus den jahreszeitlichen Schwankungen berechnet werden, was bis jetzt erst für eine sehr kleine Zahl von Flüssen geschehen ist. Aber wenn sie auch allgemein bekannt wäre, dürfte man die einzelnen Flüsse nicht ohne weiteres miteinander vergleichen, weil eben die Stromstärke für jeden Punkt des Flusses eine andere ist.

c) Die Arbeit des fließenden Wassers.

Die lebendige Kraft des Wassers wird für folgende drei Arbeitsleistungen aufgewendet:

1. für den Transport von Material,
2. für den Angriff des Flußbetts durch Erosion und
3. für die Ablagerung des mitgeführten Materials.

Je nachdem, welche von diesen drei Leistungen überwiegt, wird das Resultat der Arbeit ein ganz verschiedenes sein. Es ergeben sich drei Möglichkeiten, und zwar:

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 236. Bett eines Hochgebirgsbaches mit zahllosen großen Geschieben. Im Hintergrund zerstörte Uferböschung. Kaiserbach bei Hinterbärenbad im Kaisergebirge.

1. Die zu transportierende Masse an Material ist kleiner als die lebendige Kraft. — Es bleibt also ein Teil dieser Kraft überschüssig und kann zur zerstörenden Tätigkeit verwendet werden.
2. Die Last des mitgeführten Materials ist ebenso groß wie die Kraft. — Dann wird also der Fluß neben dieser Transportarbeit zu keinerlei Erosionstätigkeit mehr fähig sein.
3. Die Last des Materials ist größer als die lebendige Kraft. — Dann wird der Fluß zunächst nicht erodieren können, ja er wird nicht einmal imstande sein, alles Material weiterzuführen, sondern einen Teil davon im Flußbett ablagern müssen.

Im großen und ganzen kann man sagen, daß im Oberlauf die Erosion überwiegt, weil trotz der relativ geringen Wassermenge infolge des starken Gefälles die lebendige Kraft des Wassers groß ist. Im Unterlauf überwiegt die Ablagerung,

denn die Kraft auch des mächtigsten Stroms wird durch die Reibung des breiten Bettes und durch das geringe Gefälle so stark vermindert, daß für einen Transport nur noch wenig davon übrig bleibt. Im Mittellauf halten sich Erosion und Ablagerung die Wagschale: die Kraft des Wassers reicht gerade dazu hin, um das Material weiter fortzuführen, langt aber nicht mehr zu einer erosiven Tätigkeit.

Die Sedimentführung. Wir fragen nun nach Art und Herkunft dieser vom Fluß bewegten Massen. An anderer Stelle hatten wir schon die gelösten Stoffe, die nach Penck durchschnittlich etwa $^1/_{6000}$ der Wassermenge ausmachen, erwähnt; wir brauchen also jetzt nur auf die in diesem Zusammenhang auch allein wichtigen mechanischen Sedimente einzugehen. Im großen und ganzen lassen sich von diesen drei Gruppen unterscheiden:

1. die Gerölle und Geschiebe, also größere Gesteinsstücke, 2. Sand und 3. Schlamm.

Diese drei Stoffe haben ganz verschiedene Ursprungsgebiete. Sie stammen häufig aus dem Flußbett selbst, sind also einst anstehendes Gestein gewesen, das durch die sägende Arbeit der Wellen vom Untergrund abgebrochen wurde. Sie können aber auch aus ganz anderen Gebieten herrühren und nur durch Zufall in den betreffenden Fluß geraten sein. Durch die Spülwirkung des Regens, durch die ungeheure Reißkraft tosender Wildbäche, durch die Hobeltätigkeit der Gletscher, durch niedergehende Lawinen oder durch die langsame Abwärtsbewegung des lockeren Gesteins, des „Gekriechs", an den Hängen wird den im Talgrund fließenden Gewässern viel Material zugeführt, das im Flußbett weiter verarbeitet wird. Auch der Wind weht eine große Menge Sand und Staub aus weit entfernten Landstrichen in die Gewässer.

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 237. Gebirgsbach im Brockengebiet. Das Wasser hat nicht die Kraft, die großen Granitblöcke weiterzutransportieren.

All diese Stoffe werden nun weitergeführt und dabei immer mehr abgeschliffen. Die Geschiebe und Gerölle können ungefähr von allen Gesteinen stammen, der Sand dagegen ist fast ausschließlich reiner Quarz (als Restprodukt aller kieselsäurehaltigen Gesteine), und der Schlamm besteht zum weitaus größten Teile aus Ton.

Die Bewegung des groben Materials ist nun entweder ein Schieben oder ein Rollen. Natürlich ist die Größe der transportierbaren Gesteine abhängig von der Stoßkraft des Wassers; je schneller dessen Bewegung ist, um so größere Gesteinsstücke können befördert werden. Suchier fand am Rhein dafür folgende Zahlen:

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 238. Eine verlassene Flußschlinge bei Ginzling in den Zillertaler Alpen. Neben Sand, Kies und Blöcken sind auch Baumstämme vom Fluß mit hinabgeführt und zur Ablagerung gebracht worden.

Bei 1,6 m/sek Stromgeschwindigkeit bis taubeneigroße Geschiebe.
Bei 1,7 „ „ „ hühnereigroße „
Bei 1,8 „ „ „ 2500 g schwere „

In den Wildbächen, deren Wasser manchmal einen Weg von 11 m in der Sekunde durchschießt, werden deshalb alle Felsstücke mit fortgerissen; es entstehen die gefürchteten Murbrüche.

Dabei muß man noch bedenken, daß naturgemäß eine geringere Stoßkraft schon genügt, wenn die Geschiebe bereits in Bewegung sind, daß fernerhin die Steine, deren spez. Gewicht etwa 2,5 ist, im Wasser noch um ein Drittel bis die Hälfte leichter werden. Die Fortbewegung ist auch nicht überall gleich: es kommt vor, daß das ganze Bett in einer stetigen Vorwärtsbewegung ist. Das Wasser schiebt gleichsam den Untergrund mit sich fort, allerdings in nur langsamem Fließen. Im jungen Rhein ist bei Ragaz der Gerölluntergrund in einer Mächtigkeit von drei Metern stets und ständig in Bewegung. Im gewöhnlichen Verlauf kann man aber von einem ruckartigen Vorwärtsschreiten des Materials sprechen. Es geht vor sich in den Geröllbänken, auf die wir deshalb mit einigen Worten eingehen müssen. Wir können hier gleich die Sandbänke mit anschließen, die dadurch zustande kommen, daß der mitgeführte Sand abgesetzt wird. Das geschieht bei plötzlichem, vielleicht durch Verbreiterung des Bettes hervorgerufenem Langsamerfließen des Stromes, bei Rückstau (hinter festen im Flußbett befindlichen Gegenständen) oder auch bei Scharung, d. h. beim Zusammentreffen konvergierender Strömungen durch Einmündung eines Nebenflusses.

Die Bänke sind zumeist von etwa dreieckiger Gestalt, zeigen eine schwache Neigung stromaufwärts und verbreitern sich in der Fließrichtung des Wassers. Sie wandern in der Weise, daß hinten (immer in der Fließrichtung des betr. Flusses gedacht) ständig in langsamem Abbau Stücke weggenommen und weiter vorn an der immer breiter werdenden Seite wieder abgesetzt werden. Es handelt sich also bei diesen Geröllbänken keineswegs um ein einfaches Vorwärtsschieben, sondern um einen ununterbrochenen Ab- und Aufbau. Was hinten weggenommen wird, wird vorn wieder angesetzt, und das Ergebnis ist natürlich eine Vorwärtsbewegung. Allerdings ist diese recht gering; die Geröllbänke in der Rheinischen Tiefebene rücken jährlich um 200—400 m weiter.

Ganz ähnlich, aber viel schneller, wandern die Sandbänke, deren Material infolge seines Schwebevermögens eben schneller verfrachtet werden kann. An der Loire hat man ein Vorwärtswandern von 2 m pro Tag feststellen können. Ein sehr beträchtlicher Teil der Sandmassen kommt im fließenden Wasser überhaupt nicht oder höchstens in stillen Buchten zum Absatz. Es leuchtet ohne weiteres ein, daß durch diese kontinuierliche Massenversetzung das Bild eines Flusses ständigem Wechsel unterworfen ist.

Genaue Messungen der Menge des mitgeführten Materials, die sich auf einen längeren Zeitraum erstrecken, gibt es erst von einigen Flüssen. Die Reuß befördert jährlich bei einem Wasserzufluß von 150 Millionen Kubikmetern 146187 Kubikmeter Gestein in den Vierwaldstätter See. Der Rhein bringt jedes Jahr 47000 Kubikmeter fester Bestandteile in den Bodensee, die Bregenzer Ache 87400. Man kann sich leicht vorstellen, daß durch solche Massen die Alpenseen allmählich zugeschüttet werden. Beim Bodensee läßt sich dieser Prozeß sehr deutlich verfolgen; auch der gewaltige tertiäre Süßwassersee, der sich in der Grabeneinsenkung des Rheintals gebildet hatte und von Basel bis Mainz reichte, wurde lediglich durch die überreiche Geröllführung der alpinen Schmelzwässer zugeschüttet.

Da die Menge des Materials mit der geringeren Stromgeschwindigkeit abnimmt, können wir im Verlaufe des Stromes eine gewisse „Sortierung" des Materials feststellen. Bei Basel hat beispielsweise das größte bisher aufgefundene Geschiebe ein Gewicht von fast 5 kg, bei Mannheim von nur noch 100 g. Namentlich geht die Abrundung des zunächst ja beliebig geformten Gesteinsstückes verhältnismäßig schnell vor sich, das weitere Polieren und Zerkleinern dagegen erfordert Zeit. Das Ergebnis sind schließlich feiner Schlamm, Flußtrübe und gelöste Substanzen. Der Schlamm wird schwebend erhalten und sinkt nur in stillen Buchten zu Boden. Solange das Wasser in ständiger, namentlich in wirbelnder Bewegung ist, wird keine Suspension zum Absatz kommen. Daraus ergibt sich die Folgerung, daß auch die Schlammführung mit der Wassermenge zunimmt, bei Hochwasser also besonders groß ist. Die starke Verfärbung angeschwollener Flüsse ist eine alltägliche Erscheinung, sie beruht lediglich auf den Schwebestoffen. Der Hoangho, der „Gelbe Fluß" Chinas, verdankt seine Färbung der reichlichen Lößbeimischung; die Flüsse tropischer Gebiete sind durch Laterit rot gefärbt; starke Aufnahme von Humusstoffen färbt das Wasser der Moorflüsse schwarz. Der Sprachgebrauch legt bekanntlich bei der Benennung der Gewässer auf deren Färbung ziemlich großen Wert.

Erschwert werden Berechnung und Vergleichung der Suspensionen dadurch, daß diese sehr starken zeitlichen Schwankungen unterworfen sind. Besonders groß sind solche in der Sulimamündung der Donau, wo sie 2—2123 g im Kubikmeter betragen, oder in der Elbe bei Tetschen, wo man im Mindestmaß 1,13 g, im Meistmaß 756 g fand. Aus den Durchschnittswerten geht hervor, daß die Flüsse Europas verhältnismäßig schlammarm sind (d. h. sie führen weniger als 100 g im Kubikmeter), so die Maas bei Lüttich, die Rhone bei Lyon (75 g). Die Alpenflüsse dagegen sind schlammreich, enthält doch die Durance etwa 1500, der Var die Riesenmenge von 3577 g Trübstoffen in jedem Kubikmeter Wasser.

Abb. 239. Die gewaltigen Geröllablagerungen des Lechs. Durch Flußregulierung hat man den Lauf des Flusses auf ein Drittel abgekürzt.

In allmählichen Übergängen kommen wir von den gewöhnlichen Flüssen über die schlammreichen zu den schon erwähnten Muren, die nichts anderes als gewaltige Ströme von Schlamm und Schutt sind, bei denen das Wasser nur noch die Rolle eines Verbindungsmittels spielt. Bei Sarrières führte ein solcher Murbruch in 98000 Kubikmetern Wassers etwa 30000 kg Gestein mit sich, und daraus erklärt sich die zerstörende und vernichtende Wirkung dieser Ströme, die uns die Urkraft des Wassers in seiner stärksten Wirkung vor Augen führen.

Aus den Mittelwerten der Sedimentführung hat man schließlich die jährlichen Abtragungswerte berechnet, d. h. die Erniedrigung, die ein Flußgebiet durch die Erosion des Wassers erfährt. Es ist ganz klar, daß die Werte in Hochgebirgen beträchtlicher sind als im Flachland oder auch im Mittelgebirge. Das Gewicht der von der Rhone aus dem Alpengebiet entfernten Stoffe beträgt jährlich etwa 4000 Millionen Kilogramm. Verteilt man dieses Volumen auf das Gesamteinzugsgebiet, so ergibt sich eine Abtragung von 0,29 mm. Dreiundeinhalb Jahr lang muß also der Fluß mit allen seinen feinsten Äderchen und Quellbächen arbeiten, bis er sein Heimatsgebiet um das winzige Maß eines einzigen Millimeters er-

Eine Klamm in den oberbayerischen Kalkalpen.
(Nach einem Aquarell von Hans Steiner.)

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

niedrigt hat. Wir nennen noch: Po 2,4, Hoangho 4,6, Ganges 7,9, Mississippi 20,1, Donau 23, Themse 32,2, Peiho 84,7, La Plata 98,4 Jahre (nach Guppy).

Trotz des gewaltigen Abtrags von insgesamt 11,11 Millionen Kubikmeter Gesteins im Jahre wird Mitteleuropa doch jährlich nur um 0,03 mm erniedrigt, d. h. es müssen, damit ein einziger Meter abgetragen wird, 33000 Jahre vergehen.

In Südeuropa ist der Abtrag größer — 63,45 Millionen Kubikmeter —, aber auch hier kann erst Arbeit von 14400 Jahren das Land um einen Meter erniedrigen. Und im Nilgebiet verstreichen wegen seiner klimatischen Eigenart darüber gar 74000 lange Jahre.

Phot. R. Potonié.

Abb. 240. Die Strudelarbeit eines Gebirgsflusses.
Die Bode hat im Bodekessel bei Thale im Granit tiefe Nischen ausgehöhlt, die mitunter einige Meter über dem heutigen Wasserspiegel liegen.

In diesen Berechnungen sind jedoch die Geschiebe nicht inbegriffen, die, wie wir schon sahen, namentlich bei alpinen Flüssen eine recht beträchtliche Menge ausmachen. So kann man wohl Brückner recht geben, der im allgemeinen für die Erniedrigung des festen Landes um einen Meter die Spanne von 10000 Jahren annimmt.

Bei solchen Zahlen weitet sich unser Blick. Wir bewundern die Riesenarbeit des fließenden Wassers, und doch bleibt es — nach Heims Worten — unentschieden, „ob wir sagen sollen: die Verwitterung und Erosion ist ein Vorgang, der mit staunenerregender Schnelligkeit an der Umformung der Gebirge arbeitet oder: sie ist ein Vorgang, der fast unmerklich arbeitet. Beides ist wahr — den ersteren Eindruck erlangen wir bei der Betrachtung des Schuttransportes durch die Ströme, den letzteren beim Anblick der viel gewaltigeren Masse der Gebirge".

Aber die Zahlen werfen auch ein Licht auf die Dauer geologischen Geschehens. Mehr als einmal sind allein in Europa gewaltige Gebirgssysteme aufgerichtet worden, von denen jetzt kaum noch eine Erhebung mehr Zeugnis ablegt. Niemals wieder werden uns die geologischen Zeiträume so stark zu Bewußtsein gebracht wie dann, wenn wir uns überlegen, daß der höchste Kamm des in die Wolken ragenden Gebirges dereinst durch die Arbeit des fließenden Tropfens erniedrigt und ausgeglichen sein wird.

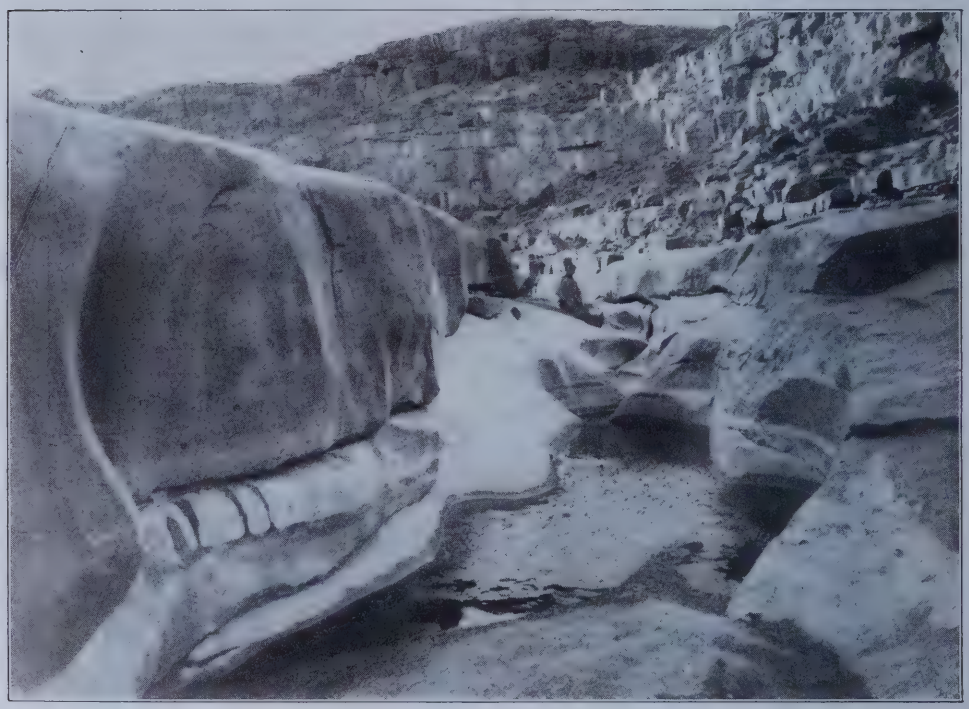


Abb. 241. Aushöhlung des Gesteins durch fließendes Wasser.
Die Wasserstelle Zebrafontain in Südwestafrika.

Die Erosion. Erosion setzt in jedem Gewässer ein, sobald die lebendige Kraft des Wassers größer ist als die zum Transport des Materials benötigte. Man kann die erosive Tätigkeit des Wassers in zwei Grundkomponenten zerlegen, erstens in eine Ablation, eine Abtragung durch Loslösung fester Bestandteile und zweitens in eine Korrosion, eine Ausarbeitung, Ausglättung des Flußbettes. Während die Ablation lediglich eine durch die Stoßkraft der Wellen bedingte mechanische, gleichsam abspaltende Tätigkeit ist, wirkt die Korrosion sowohl chemisch als auch physikalisch. Von der chemischen Tätigkeit des Wassers hatten wir schon gesprochen; sie wird bei weitem übertroffen von der mechanischen Korrosion. Diese besteht einmal in einer rein schleifenden, polierenden Tätigkeit, dann aber auch in einer bohrenden. Gerade die letztere ist für die Umgestaltung des festen Untergrundes von größter Wichtigkeit.

Durch die aushöhlende Tätigkeit entstehen Strudellöcher von wechselndem Ausmaß, das aber natürlich bis zu einem gewissen Grade von der lebendigen Kraft des Wassers abhängig ist.

Sie sind in Wasserfällen am tiefsten, da der Sturz des Wassers eine größere Strudelung hervorruft und seine Kraft verstärkt. Der mitgeführte Sand leistet dabei gute Dienste, denn gerade dieses feine Material ist das Werkzeug, dessen sich das strudelnde Wasser bei seiner Polierarbeit hauptsächlich bedient (Abb. 240—242).

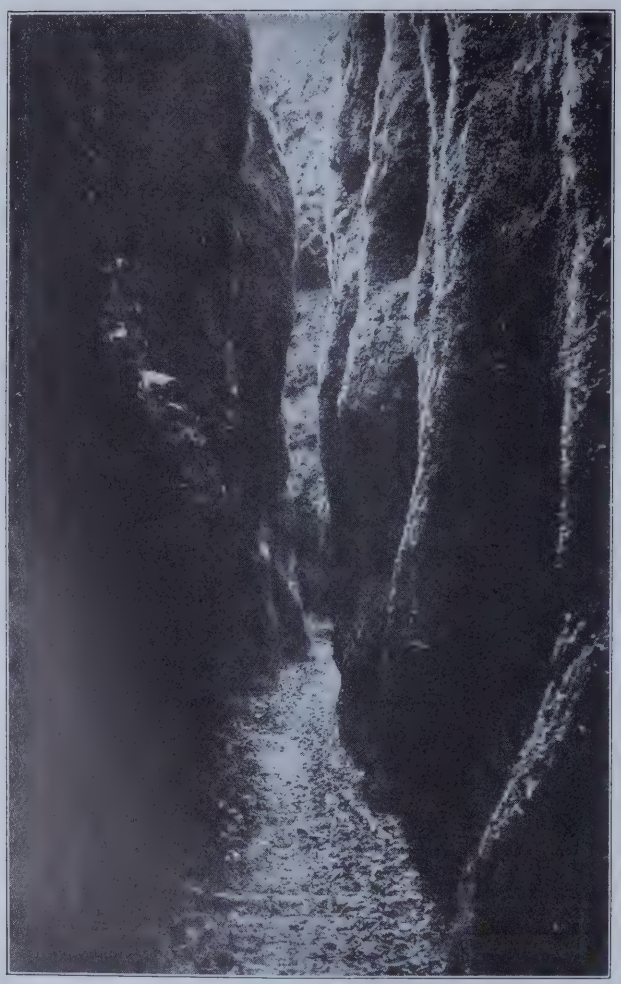
Abb. 242. Wasserfall im Eggental bei Bozen.
Hinter Wasserfällen finden sich stets tiefe Strudellöcher, da hier die lebendige Kraft des Wassers besonders groß ist.

Wenn die Strudellöcher größer und größer werden, kommen sie schließlich zur Vereinigung und Verschmelzung. An Stelle der getrennten Wirbellöcher zeigt sich dann wieder ein glatteres Bett, in dem sich die Strudelbildungen in Restandeutungen erkennen lassen. Diese Erosion überwiegt allerdings nur in festem Gestein, in lockeren Sanden besteht die Hauptarbeit des Wassers in einer linearen, sägenden Erosion. Wildtobel schaffen sich in wenigen Jahren ein tiefes, wenn auch unausgeglichenes Bett, in den lockeren Aschen der Vulkankegel bildet schon das bei der Eruption entleerte und als Platzregen aus den Wolken niederströmende Wasser vertiefte Rinnen und Täler (vgl. Abb. 168).

In den Aschen des Krakatau waren beispielsweise schon nach 13jähriger Erosionswirkung Schluchten bis zu 50 m Tiefe eingegraben; aber auch in den festen Gesteinen ist die Arbeit deutlich zu merken. Hauptsächlich diejenige des Hochwassers ist von Wichtigkeit; es räumt mit Gewalt das aufgeschichtete Material hinweg oder gräbt sich darin ein neues Bett.

Am deutlichsten wird die Wirkung der Erosion in den Klammen (Abb. 243 und 244 sowie Tafel XVIII). An den glattpolierten Wänden finden wir noch die Reste

ehemaliger Riesentöpfe in Gestalt kleiner Nischen. In manchen finden sich sogar noch alte Rollsteine vor, die an der Strudelwirkung Anteil hatten. Der aufmerksame Naturfreund kann mit Leichtigkeit in solchen Klammen die erosive Tätigkeit des fließenden Wassers erkennen. Je nach dem Alter, nach der petrographischen oder auch tektonischen Beschaffenheit der Schichten wird allerdings das Bild mehr oder weniger verwischt sein, und schließlich wird die Verwitterung den Charakter der Klammwände mildern und aus der schroffen Klamm ein Tal mit sanfteren, bewachsenen Hängen schaffen. Klammen finden sich besonders in den Kalkalpen; sie kommen aber auch vereinzelt im Mittelgebirge vor (Klamm im Riesengebirge, Drachenschlucht bei Eisenach, Abb. 243).



Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 243. Die Drachenschlucht bei Eisenach, eine Klamm im Mittelgebirge. An den Wänden sind die alten Strudellöcher noch deutlich zu erkennen.

Ganz ähnlich sind auch die Kañons, wie sie in Gebieten flachgelagerter Schichten unter bestimmten klimatischen Bedingungen auftreten. Am bekanntesten ist das Beispiel des Kolorado, der sein Bett in feste, nach Süden geneigte Gesteinsschichten eingegraben und eine tiefe Röhre gebildet hat. Hier begann die Erosion im Tertiär und leistete seit dieser Zeit eine gewaltige Arbeit: die Schichten des Tertiärs, der Kreide, des Jura und der Trias wurden weit ausgeräumt. Schon zur Miozänzeit hatte der Fluß den karbonischen Untergrund erreicht und hat diesen heute bis zu seiner granitischen Unterlage vollständig durchsägt. Das Kañontal des Kolorado ist 1800 m tief und weist einen etwa trichterförmigen Querschnitt auf, d. h. an einen breiten oberen Abschnitt setzt sich ein schmaler unterer Teil mit einem ausgesprochenen Klammcharakter an (Tafel XIX). Es finden sich in seinen Wänden Nischen und rundliche Aushöhlungen als Reste früherer Strudel-

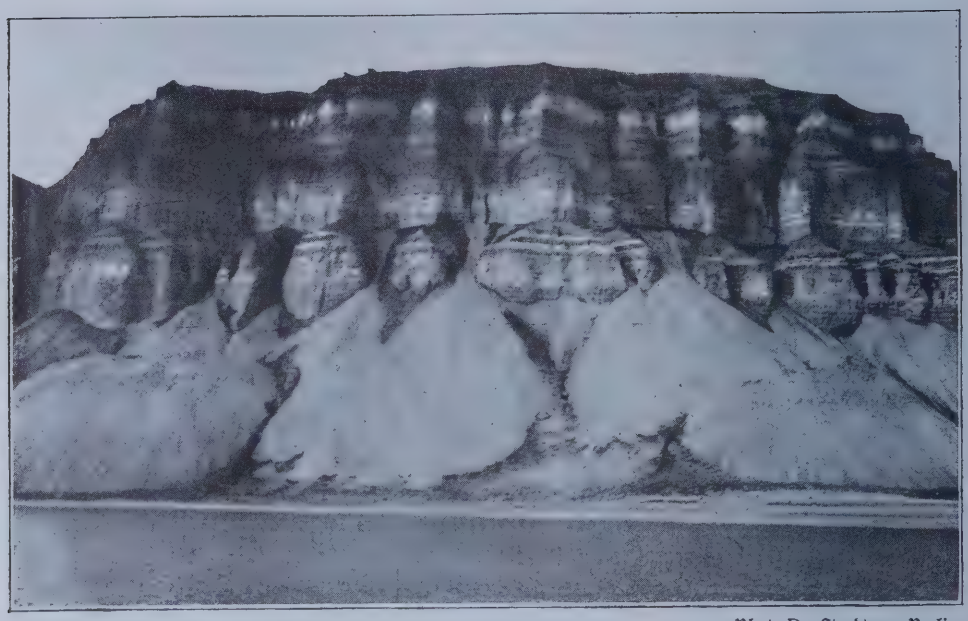
töpfe, und das Wasser deckt an vielen Stellen den Talboden vollständig zu. Kañons finden sich auch im Gebiete des oberen Missouri, des Red Rivers, des Arkansas. Sie können sich nur bilden, wenn die Tiefenerosion des fließenden Wassers durch die seitliche Erosion der Niederschläge oder der durch diese bedingten Rinnsale nicht zu stark beeinflußt wird. Es lassen sich demnach überall dort Kañonformen nachweisen, wo entweder die Tiefenerosion die seitliche bei weitem übertrifft oder wo die Durchlässigkeit des Gesteins eine erosive Tätigkeit der Niederschläge oder der Zuflüsse stark herabdrückt. Aus diesem Grunde bietet die Elbe mit ihrer ausgesprochenen Tiefenerosion in der Sächsischen Schweiz, wo die Quadersandsteine das Niederschlagswasser aufsaugen, wenn auch in bescheidenem Maßstabe typische Kañonformen, deren Charakter durch die Zerklüftung des Sandsteins noch besser zur Geltung gebracht wird.

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 244. Eingang in die Partnachklamm bei Garmisch-Partenkirchen.
Der Bach hat eine tiefe Rinne in die Kalkschichten gegraben.

Die Ablagerung. Die Tragkraft des Wassers hängt zum großen Teil vom Gefälle ab. Wenn das Gefälle und damit die Fließgeschwindigkeit eines Gewässers abnimmt, reicht seine Kraft nicht mehr aus, alle Stoffe weiterzubewegen; es muß also eine Ablagerung von Stoffen eintreten. Mündet beispielsweise ein Bach aus einer steilen Seitenschlucht in ein weites Haupttal ein, so muß er bei der plötzlichen Verringerung des Gefälles auch einen großen Teil seiner Last zu Boden fallen lassen. Er bildet dann einen sogenannten Schutt- (Dejektions-)kegel (Abb. 245).

Auch hinter jedem Wasserfall findet eine Ablagerung von Schutt statt, was man selbst im kleinsten Bachbett wahrnehmen kann: die vom herabstürzenden Wasser ausgebohrte Hohlform wird talabwärts von einem deutlich erkennbaren Geröllhaufen begrenzt.



Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 245. Wasserrinnen und Schuttkegel am Tempelberg auf Spitzbergen. Das steil herabstürzende Wasser reißt viel Schutt mit sich, den es am Fuß des Berges in Form von Schuttkegeln wieder ablagert.

Schließlich sind auch die Zentren der Strudel solche Ablagerungsplätze. Wenn infolge irgendeines Vorsprunges oder eines Hindernisses ein Teil des Wassers in eine Kreiselbewegung gezwungen wird, so verringert sich die Fließgeschwindigkeit nach dem Mittelpunkt des Strudels hin immer mehr, und die Suspensionen fallen zu Boden. Ganz ähnlich ist es auch bei den Flußkrümmungen. Wir hatten schon früher gehört, daß sich der Stromstrich immer der Außenseite der Kurve zuwendet, daß also nach innen hin das Wasser ruhiger und langsamer fließt. Deshalb setzt sich auch an der Innenseite immer mehr Material ab, während das gegenüberliegende Ufer davon frei bleibt.

Ohne weiteres ergibt sich aus unseren früheren Betrachtungen, daß die Schuttablagerung immer mehr zunehmen muß, je weiter wir uns dem Mündungsgebiet eines Flusses nähern. Hier erlahmt ja die Kraft des Stromes fast ganz und lebt nur zur Zeit des Hochwassers wieder auf. Dann allein ist das Wasser imstande, die Riesenmasse der angesammelten Gerölle und Geschiebe zu bewältigen. Man kann aus diesem Grunde stets ein Hochflutbett von dem gewöhnlichen, in normalen Zeiten eingenommenen, unterscheiden. Dieses liegt zumeist ein wenig vertieft in den Sedimenten. Die Ausdehnung des Hochwasserbettes — der sogenannten Inundationsfläche (d. h. der Fläche, die überhaupt von Wellen bespült werden kann) — ersieht man häufig aus der weitläufigen Anlage der Eisenbahnbrücken, die naturgemäß darauf Rücksicht nehmen müssen und deshalb oft zu beiden Seiten des Flusses noch ein breites Band mehr oder weniger übergrünter Schuttmassen überspannen.

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 246. Der kühnste Felsenbau Europas: Das Prebischtor in der böhmischen Schweiz. Die Wölbung ist 26 m breit und 21 m hoch, die obere, aus einem einheitlichen Sandsteinblock bestehende Platte ist 17 m lang und 3 m dick.

Eine wesentliche Ursache für Schuttablagerungen bilden auch die Nebenflüsse. Wenn nämlich in einen Fluß irgendein Bach mündet, so wird dessen Wasser von dem kräftiger und schneller fließenden Strom abgestaut, was eine Verringerung der Fließgeschwindigkeit bedingt. Es sinkt also ein großer Teil der Stoffe zu Boden, und zwar naturgemäß hauptsächlich an der Seite, an welcher der einmündende Bach zuerst mit dem Wasser des Flusses in Berührung kommt, weil hier der Abstau am stärksten ist. An dieses Ufer wird sich demnach ein Haken ansetzen. Dadurch wird aber der Bach nun gezwungen, auf der talabwärts gelegenen Seite zu erodieren. Das Resultat ist also eine Ablenkung und Abbiegung. Solche Schleppung des mündenden Nebenflusses läßt sich in der Natur häufig beobachten. Es sei bemerkt, daß infolge der Sedimentablagerung ein Nebenfluß, der einst in Meeresnähe in einen Strom mündete, selbständig werden kann. Die Etsch lehrt uns dies. Sie war einst Nebenfluß des Po, in den sie unweit der Küste des Adriatischen Meeres einmündete. Die reichlichen Geröllmassen, die sie aus den Alpen mitbrachte und in der Ebene beim Einfluß in den Po absetzen mußte, haben ihr Bett vollständig von dem des Po abgetrennt: sie mündet jetzt als selbständiger Strom in die Adria.

Der Zyklus der Erosion. Den Fluß kann man mit gutem Rechte einem Organismus vergleichen, denn hier wie dort stehen alle Teile in engem Zusammenhang, und es geschieht nichts an einer Stelle, was nicht sofort seinen Einfluß in Form von Störungen, Veränderungen oder auch Neubildungen im Verlaufe des ganzen Systems bewirken würde. Jeder Fluß reguliert sich selbst. Zwei Punkte

allein sind in ihm festgelegt, und zwar auch nur relativ, nicht absolut: die Quelle hoch oben im Gebirge und tief unten im Tal die Mündung. An diesen beiden Stellen ist die Arbeit des Flusses gleich Null, nur zwischen ihnen wirken die lebendigen Kräfte des fließenden Wassers. Ihr Ziel ist es, ein ausgeglichenes, normales Gefälle ohne Hindernisse und Unebenheiten herzustellen. Dieses Gefälle wird aber keineswegs durch eine gerade, Quelle und Mündung einfach verbindende Linie dargestellt, sondern es ist eine Kurve, deren Gefälle von der Quelle an dauernd abnimmt. Das gibt uns auch die Handhabe, zu unterscheiden zwischen dem Oberlauf mit seiner Erosion und dem Unterlauf mit seiner Ablagerung.

Abb. 247. Der „Steinerne Regenbogen" von Utah, ein Zeugnis der Flußerosion. Die Brücke hat eine Spannweite von 90 m und eine Höhe von 100 m.

Die eigentliche Mündung des Flusses ist der am sichersten festgelegte Punkt auf der ganzen Linie. Sie bestimmt also auch das Gefälle aller Nebenflüsse und Seitenarme, denn es wäre unmöglich, daß irgendein Glied im System nicht im vollen Einklang mit dem Ganzen wäre.

Trotz allem herrscht aber in diesem großen Organismus keine Ruhe, sondern ein ständiges Arbeiten in Wechselbeziehung. Im Unterlauf wird die Mündung immer weiter vorgebaut und dadurch der Lauf des Flusses unablässig verlängert. Die Folge dieser Verlängerung ist, daß sich die Gefällskurve hier unten etwas heben muß; da der Fluß im Oberlauf ebenfalls ständig weiter erodiert, so wird die Gefällskurve, je älter der Fluß ist, eine immer geringere Neigung zeigen. Diese Einebnung der Kurve muß so lange vor sich gehen, bis oben nicht mehr erodiert und unten nicht mehr abgelagert werden kann.

Blick in das Kañontal des Colorado in Arizona.
Der Fluß hat sein Bett ungefähr 2000 m tief in die Schichten eingesägt.
Die Wände auch der Seitentäler fallen steil ab, der Talboden wird vom Fluß völlig ausgefüllt.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Durch die erosive Tätigkeit aller Flüsse mit ihren Nebenflüssen, Bächen und Rinnsalen wird also ein Gebiet mehr und mehr erniedrigt. Die Quellen werden immer tiefer verlagert, die scheidenden Rücken zwischen den Nachbartälern durch seitliche Erosion erniedrigt, zu flachen Buckeln umgestaltet und endlich ganz weggeschafft. Man kann sich, allerdings mit einiger Mühe nur, vorstellen, daß auf diese Weise in einem früheren Gebirgsland, welches nach allen Richtungen hin von Flüssen und Bächen durchfurcht wird, schließlich sämtliche trennenden Rücken lediglich infolge der Erosionswirkung des fließenden Wassers beseitigt werden können. Wenn man die zur Ableistung solcher Titanenarbeit notwendigen Zeiträume verstreichen läßt, dann kann als Endzustand eintreten, daß nur mehr kleine und unbedeutende Höhenzüge und Bodenwellen die regelmäßige Ebenheit des Geländes unterbrechen. Die Gesteinsbeschaffenheit und die geologische Vergangen-

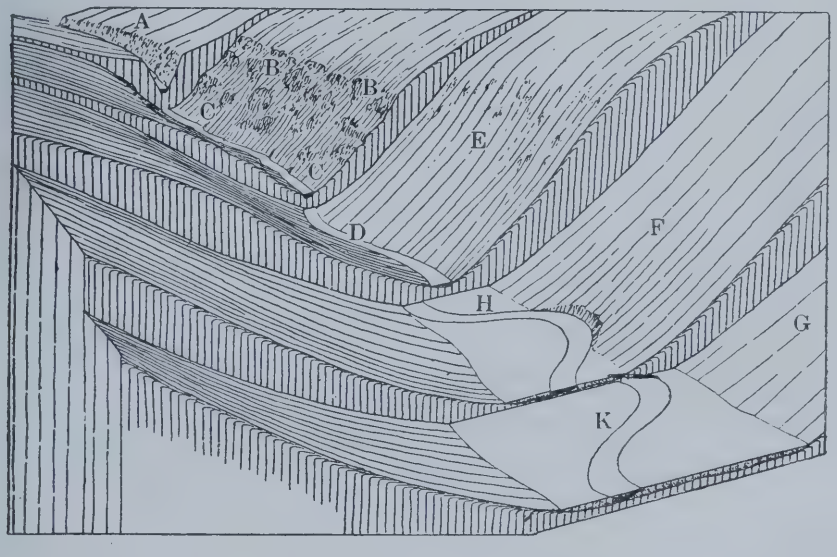


Abb. 248. Die Entwicklung der Talgehänge (n. Davis).
Die Gehänge werden im Verlauf des Tales immer flacher (von A—G), der Fluß, der zunächst (bei A) einschneidet, bildet bei H und K in dem breiten Talgrund Schlingen.

heit spielen dabei lediglich für das Zeitmaß der Entwicklung, nicht aber für das letzte Gepräge eine Rolle. Ob es sich um ein welliges Flachland oder um ein zerrissenes Faltengebirge handelt, ist für das letzte Gesicht der Landschaft absolut nicht maßgebend: stets ist nach Davis das Endglied in der langen Kette des Entwicklungszyklus eine eintönige, fast skulpturlose Oberfläche, eine „Fastebene" (Peneplain).

Ob diese Theorie der Fastebene im vollen Umfang der Meinung ihres Begründers und ihrer eifrigen Verfechter gelten kann, erscheint fraglich. Für abgegrenzte Gebiete von gleichem Habitus besteht sie aber sicherlich zu Recht, und das morphologische Bild mancher Landschaft spricht ohne weiteres dafür. Das Französische Zentralplateau, die Ardennen und einen Teil Thüringens kann man jedenfalls mit guter Berechtigung als Fastebenen bezeichnen. Womit aber nicht gesagt werden

soll, daß nicht durch nachträgliche Hebungserscheinungen diese Fastebenen einer weiteren, jüngeren Erosion unterliegen könnten.

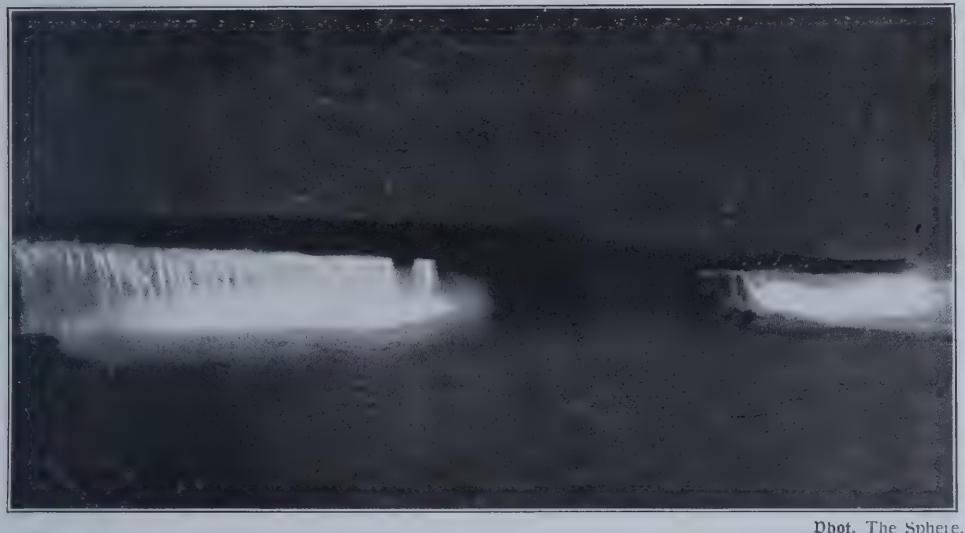
Wir müssen nun noch etwas genauer den Zyklus der Erosionstätigkeit eines Flusses verfolgen. Jeder Fluß beginnt zunächst mit einem Quelltrichter, d. h. mit einem zirkusförmigen Rundgehänge, das ziemlich steil ist und an dem im Umkreis die Rinnsale hinabfließen. Dann folgt ein schmales Abflußrohr mit ausgesprochener, starker Tiefenerosion. Die Wände in diesem obersten Talstück sind sehr steil; ihr Böschungsgrad ist fast lediglich durch den Maximalböschungsgrad des betreffenden Gesteins bestimmt. Der Talboden ist uneben, unausgeprägt. Eine seitliche Erosion ist nicht möglich; deshalb finden wir auch keine Schutthalden. Der ganze Querschnitt dieses Talstückes zeigt eine V-Form (Abb. 249).

Abb. 249. Ein typisches Flußtal mit V-förmigen Wänden: Das Eggental bei Bozen.

Erst weiter unten beginnt die seitliche Erosion. Der Bach schneidet, indem er sich hin und herschlängelt, auf dem einen Ufer die Gehänge an und lagert auf dem gegenüberliegenden den Schutt wieder ab. Allmählich entsteht auf diese Weise ein aus Erosionsschutt gebildeter Talboden, in den nun der Fluß sein Bett eingräbt.

Die normalen Verhältnisse der Fließgeschwindigkeit und Erosionstätigkeit werden nun durch die Wasserfälle unterbrochen. Wasserfälle sind Stellen erhöhter, durch ein stärkeres Gefälle bedingter Stromgeschwindigkeit, daher auch erhöhter Erosionsfähigkeit. An keiner Stelle sonst im Fluß wird so stark an der erosiven Umgestaltung des Flußbettes gearbeitet, wie in den Wasserfällen. Diese können nun durch zwei Ursachen bedingt sein, und danach sondert man die ursprünglichen Fälle von den nachträglichen. Ursprüngliche knüpfen stets an

schon vorhandene Geländestufen an; sie sind gleichsam von Anfang an in das Bild des betreffenden Flusses mit inbegriffen, die nachträglichen aber sind erst später entstanden. Sie lassen sich lediglich auf Härteunterschiede im Gestein zurückführen und wachsen deshalb mit der ungleichmäßigen Sägearbeit des fließenden Wassers, das in weichere Schichten naturgemäß schneller einschneiden kann als in harte. Der Niagarafall ist ein Beispiel für diese Art von Wasserfällen: harte Kalke bilden hier eine Terrasse, die der Erosionsarbeit des Stromes kräftigen Widerstand entgegensetzt und die von unten her sogar vom Wasser ausgehöhlt wird. Dasselbe kann man im kleinen in vielen Bächen beobachten, die über abwechselnd harte und weiche Schichten hinwegfließen.



Phot. The Sphere.

Abb. 250. Die Niagarafälle bei künstlicher Beleuchtung.

Jeder Wasserfall schreitet nun im Laufe der Zeit — wenn auch langsam — zurück. Die Lagerung der ihn bedingenden widerstandsfähigen Bank ist dabei, wie man sich ohne weiteres ableiten kann, von Wichtigkeit. Deshalb behalten auch manche Wasserfälle stets ihren typischen Fallcharakter, im Gegensatz zu anderen, die sich in unzählige Kaskaden und Stromschnellen auflösen. Der Niagara geht beispielsweise jährlich um $^3/_4$ m zurück. Nimmt man die Leistung der Jetztzeit als Maß für die Zukunft, so würde der Fall in 70000 Jahren den Eriesee erreichen. Da aber seit einiger Zeit infolge der riesigen Kraftanlagen dem Strom viel Wasser entzogen wird, so geht der Rückschritt beträchtlich langsamer vor sich.

Sehr viel Wasserfälle entstehen auch bei der Einmündung eines Nebenflusses in ein durch Gletschererosion übertieftes Haupttal. Die bekanntesten Fälle dieser Art sind die Josemitefälle mit dem überhaupt höchsten Absturz von 680 m und der berühmte Staubbachfall im Lauterbrunner Tal (Abb. 276 und Tafel XX).

Die Kataraкte des Nils stellen gleichsam eine Zwischenstufe von Wasserfällen und Stromschnellen dar. Davon gibt es alle Übergänge bis schließlich zu dem letzten, durch eine kleine Barre im Flußbett bedingten Wirbelstrom (Abb. 252).

Phot British South Africa Co.

Abb. 251. Die Sambesifälle, von Westen aus gesehen.
Die Sambesifälle, die in zahlreiche, nebeneinander liegende Einzelfälle gegliedert sind, übertreffen an Größe und Ausdehnung die Niagarafälle.

Es kommen übrigens noch eine ganze Reihe anderer Unterbrechungen des Flußlaufes vor. So können zum Beispiel Bergstürze Verwirrung in das Flußsystem bringen. Das gleiche gilt auch für sehr sedimentreiche Nebenflüsse und für Muren, die ihr Material im Hauptfluß zur Ablagerung bringen. Selbst Lawinen können ein langanhaltendes Hindernis für die regelrechte Flußentwicklung darstellen.

Phot. Wehrli A.-G.

Abb. 252. Der Rheinfall von Schaffhausen.

Gesetze der Talbildung. Von ausschlaggebender Wichtigkeit für die Gestaltung der Täler ist die Ausbildung und die Lagerung des Gesteins. In widerstandsfähigen Gesteinen sind die Talränder steil, die Täler sind verhältnismäßig eng und erscheinen tief. Leicht angreifbare Gesteine gestatten dagegen starke Seitenerosion und kräftig wirkende Verwitterung, so daß geneigte Hänge entstehen.

Neben dem petrographischen Moment tritt bei der Talbildung noch das klimatische stark in Erscheinung. Je trockener ein Gebiet ist, desto mehr wird die Tiefenerosion des fließenden Wassers die Seitenerosion des spülenden unterdrücken, desto steiler müssen also die Wände des Tales werden. Je niederschlagsreicher dagegen ein Gebiet ist, um so mehr wird auch die ausgesprochene Tiefenerosion verwischt; die Täler werden zu weiten Talungen mit sanft ansteigenden Bergumrahmungen. Ein Gebiet, in dem die Erosion ganz minimal ist, finden wir in den polaren Klimaten und in den klimatisch gleichgestellten Hochgebirgsregionen des ewigen Schnees. Hier tritt also die eigentliche Talbildung ganz in den Hintergrund.

Eine Eigenart alter Flüsse stellen die Mäander dar. Dies sind große Flußschlingen, die ihren Namen einem kleinasiatischen, vielgewundenen Strome entlehnt haben. Mäander entstehen, wenn ein Fluß nicht mehr die Kraft hat, in die Tiefe zu erodieren. Durch kleine Widerstände wird er dann aus der eingeschlagenen Richtung abgedrängt und fängt an, hin und her zu pendeln. Und zwar stehen die Bogen in einem direkten Verhältnis zur Größe des Flusses, was sie von zufälligen Windungen unterscheidet. An den Mäanderkurven wird nun einerseits

Abb. 253. Prallhang (rechts) und Gleithang (links) eines Flusses.
Das Elbetal bei Königstein; links der Lilienstein.

erodiert, andererseits abgesetzt; infolgedessen wandern die Kurven mehr und mehr nach abwärts. Am stärksten ist die Erosion an der Außenseite der Bogen; deshalb werden auch die Schlingen im Laufe der Zeit größer und größer. Das geht immer weiter, bis schließlich infolge der Verlängerung des Bettes die Stromgeschwindigkeit gleich Null wird. Zerstört dann an der schmalen Stelle, die solche Schleifenarme voneinander trennen, ein Hochwasser die Landbrücke, dann wird

Abb. 254. Die bei Buchara im Wüstensand versiegenden Arme des Serafschan.

Abb. 255. Ein Mäander der Mosel. Der Fluß macht eine große Schlinge um den im Vordergrund liegenden Bergrücken der Marienburg.

der Fluß um ein Stück abgekürzt, und ein sogenanntes Altwasser bleibt übrig. Solche Altwässer sind im Flußgebiet ziemlich häufig vorzufinden; sie verlieren nach und nach ihren Wasserinhalt und heben sich schließlich aus der übrigen Talaue nur noch durch die hellere Färbung ihrer Vegetation ab (Abb. 255).

Man unterscheidet freie und ererbte (eingesenkte) Mäander. Die freien entsprechen den Voraussetzungen, die wir eben aufgestellt haben, die ererbten dagegen finden sich in Gegenden, wo man sie keinesfalls erwarten sollte, nämlich in Gebirgsmassen.

Zu ihrer Erklärung muß man annehmen, daß sie schon vorhanden waren, als sich an Stelle des jetzigen gebirgigen Landes eine kaum geneigte Fläche be-

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 256. Eingesenkte Mäander der Saale bei Jena.

fand. Mit Eintritt einer Hebung, die unmerklich langsam vor sich ging, senkten sie sich in gleicher Weise ganz allmählich mit allen ihren Windungen ein. Geröllablagerungen an den Hängen des Tales und Umlaufberge bezeichnen die früheren Lagen des Flußlaufes.

An den Terrassen erkennen wir wohl am deutlichsten, daß die Täler ihre Entstehung und vor allem ihre Ausgestaltung der erodierenden Tätigkeit des Wassers verdanken. Unter Terrassen versteht man in der geologischen Fachsprache an den Hängen befindliche, mehr oder weniger hoch über der eigentlichen Talsohle gelegene Stufenbildungen. Ihre Oberfläche ist zumeist ziemlich eben, doch fallen sie fast immer gegen den Fluß zu ziemlich steil ab.

Abb. 257. Die Isar unweit von München.
Durch Regulierung ist die Länge des Flusses auf ein Drittel des früheren Laufes reduziert worden.

Diese Terrassen stellen nun nichts anderes dar wie Reste früherer Talböden, als der Fluß sich noch nicht so tief eingeschnitten hatte und infolgedessen seine Talaue noch hoch über der jetzigen lag.

Wie alle Bildungen werden auch die Terrassen im Laufe der Zeit durch die Kräfte der Verwitterung und der seitlichen Erosion mehr und mehr verstümmelt. So kommt es, daß wir wohlerhaltene Terrassen nur in sehr wenigen Tälern antreffen und daß zumeist nur undeutliche Stufen an den Gehängen zu beiden Seiten des Flusses oder schließlich bloß noch vereinzelte Geröllagen übriggeblieben sind.

Da die Terrassen Stufen darstellen, müssen sie ihrer Entstehung nach auch gleichsam Stufen in der Entwicklung des Flusses sein. Jede Terrasse entspricht einer Zeit, in der die Erosionstätigkeit entweder ganz aufgehört hatte oder jedenfalls doch sehr gering war und hauptsächlich die Aufschüttung von Material und die seitliche Ausarbeitung des Tales sich geltend machte. Der Terrassenabsturz dagegen entspricht einer erneuten starken Erosionstätigkeit des Flusses, die sich wieder hauptsächlich in einem Einschneiden in die Tiefe ausdrückte.

Detroit Photogr. Co.

Die großen Yosemitefälle im Yosemitetal, die in drei Absätzen 790 m hinabstürzen.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Deltabildungen. Der Name Delta (abgeleitet von dem griechischen Buchstaben Δ) wurde zuerst für die Nilmündung angewandt. Diese ist aber eigentlich gar kein charakteristisches Delta, denn die Gabelung des Flusses ist keineswegs nötig, um ein typisches Delta zu ergeben. Von morphologischem Wert für die Deltagestaltung ist lediglich die Ablagerung des mitgeführten Materials eines Flusses.

Man kann also definieren: Ein Delta bezeichnet alle die Oberfläche des Wassers erreichenden Flußablagerungen in stillem Wasser. Daraus ergibt sich dann sofort die Unterscheidung in ozeanische und Binnendeltas. Am anschaulichsten wird uns der Bau eines Deltas in einem Binnengewässer, weil hier weder Wellenschlag noch Brandung den ruhigen Absatz des Materials stören. Wir hatten ja schon einmal gehört, daß ein in dem Flußlauf eingeschaltetes Seebecken morphologisch dieselbe Bedeutung hat wie das Meer, indem der Tätigkeit des Flusses hier so gut wie dort ein Ziel gesetzt wird. Deltas lassen sich sehr gut in den Seen des Alpenvorlandes beobachten, denn Rhone, Rhein, Reuß, Adda — um nur einige bedeutendere zu nennen — fließen durch Seen hindurch und lagern in ihnen den größten Teil ihres Materials ab. Noch deutlicher wird die Deltabildung, wenn der Strom in einen abflußlosen See einmündet, wie die Wolga in den Kaspisee; dann kommt es bisweilen zu einer vollständigen Ausfüllung des Seebeckens durch die Schotter und Geschiebe des Flusses. Das Bödeli, auf dem Interlaken liegt, ist das mächtige Delta der Lütschine, die mit ihren gewaltigen, vom Hochgebirge stammenden Schuttmassen das ehemals einheitliche Seebecken in den Thuner und Brienzer See geteilt hat.

Phot. H. Huber.

Abb. 258. Das Delta von Bartholomae, welches den Königsee bei Berchtesgaden sehr stark einengt. Im Hintergrund der Funtenseetauern.

Abb. 259. Karte des Nildeltas.

Die vielbesuchte Kirche Bartholomae am Königsee liegt ebenfalls auf einem großen Delta (Abb. 258).

Der Schuttkegel eines Deltas besteht zumeist aus Schlamm, Sand und Geröll. Je feiner die Stoffe sind, desto weiter nach vorn werden sie verlagert: infolgedessen muß, da der Fluß sich ständig weiter vorschiebt, über dem Schlamm der ersten Ablagerung Sand und Schotter einer späteren folgen.

Das Delta wird also vorgebaut und die eigentliche Mündung des Flusses von Tag zu Tag mehr ins Meer oder in den Binnensee hinaus verschoben. Allerdings ist die Grundbedingung dafür ruhiges Wasser. Brandungswellen, vor allem auch die Gezeitenströmungen, arbeiten der Ablagerung entgegen. Sie suchen den fremden Schutt von der Meeresküste wegzufegen, entweder ihn ganz zu beseitigen oder ihn wenigstens zu verlagern. Hierüber wird an späterer Stelle gesprochen werden (Abb. 259 und 260).

d) Die Seen.

Eine weit geringere geologische Bedeutung als die Flüsse haben die Seen, obwohl sich auch diese in den verschiedensten Regionen der Erde, und zwar in allen Größenabstufungen und Tiefenausmessungen finden. Hinsichtlich ihrer Entstehung teilt man sie zweckmäßig in endogene und exogene Seen ein.

Endogene Seen gehen stets auf gebirgsbildende Vorgänge zurück: Bruchspalten füllen sich meist bald mit Wasser an, und es

Abb. 260. Karte des vorgeschobenen Mississippideltas.

entstehen auf diese Weise Seen, an deren Gestalt man häufig ihre Entstehungsursache erkennen kann. In den Alpen ist der Gardasee ein treffliches Beispiel für einen ausgefüllten Grabenbruch. Bedeutender noch sind jene Seen, die sich in der großen Ostafrikanischen Grabenspalte gebildet haben, so der Albert-See, Tanganikasee, der Njassasee und das Tote Meer, die sich sämtlich durch eine lange, schmale Gestalt auszeichnen.

Auch viele der auf der Nordseite wie auf der Südseite der Alpen gelegenen Seen, also etwa der Lago Maggiore, der Luganer See, der Comer See einerseits, der Bodensee und Zürichsee anderseits, gehen auf tektonische Ursachen zurück, und zwar auf Einsenkungen, wodurch vorhandene Flußtäler in trogförmige Seebecken umgewandelt wurden (vgl. Abb. 164).

Abb. 261. Ein durch Bergsturzmassen aufgestauter See.
Der Lautersee bei Mittenwald, gegen das Karwendelgebirge gesehen.

Weit häufiger sind die Seen exogenen Ursprungs. Durch Bergstürze sind in den Alpen viele Seen aufgestaut worden (Obersee am Königsee, Grillensee am Eibsee, Badersee bei Garmisch, Piburger See bei Ötz), andere, wie diejenigen im Oberen Engadin (Silser See, Silvaplanasee) durch große Schuttkegel. Die Endmoränen eiszeitlicher Gletscher stauten häufig das Wasser zu Seen auf; die Seen des Alpenvorlandes, also Starnberger See, Ammersee, Schliersee, Tegernsee, Chiemsee und viele andere gehören hierhin (Abb. 261 und 262). Man kann deutlich ihre Umrahmung mit Moränenwällen erkennen, die auch im südlichen Teil des Gardasees vortrefflich zu beobachten ist. Von Wällen ganz anderer Art sind die Kraterseen umgeben, die sich in den Kratern tätiger und erloschener Vulkane bilden und die als Maare in der Eifel besonders verbreitet sind. Auch Dünen können Seen aufstauen, indem sie Flüsse verhindern, ins Meer zu münden. Allerdings

entstehen solche Seen auch aus Meeresteilen, die durch Nehrungen abgetrennt werden.

Diesen sämtlich durch Abdämmung entstandenen Seen stehen die Austiefungsseen gegenüber, so vor allem die durch Erosion der Schmelzwässer entstandenen zahlreichen Seen der norddeutschen Tiefebene.

Technophot. Archiv Berlin.

Abb. 262. Moränenseen der Voralpen.
Blick auf den Kochelsee und (im Hintergrund) den Würm- (Starnberger) See.

Eine Eigentümlichkeit vergletscherter Gebirge stellen die Eiserosionsseen dar, die sich häufig in der Schneeregion der Alpen finden, wo sie in von früheren Gletschern ausgehobelten Wannen (Karen) liegen. Nach außen hin sind sie durch einen Moränenwall abgesperrt. Diese Karseen finden sich nun auch in manchen deutschen Mittelgebirgen, die einst vergletschert waren. Am bekanntesten sind der Feldsee am Feldberg im Schwarzwald, der Weiße und Schwarze See in den Vogesen, der Große und der Kleine Teich im Riesengebirge.

Schließlich muß noch der Auslaugungsseen gedacht werden, die in Erdfällen liegen. Die Seen des Mansfelder Gebietes entstanden durch Auslaugung der unterirdischen Salzlager, zahlreiche Seen und Tümpel am südlichen Harzrand durch Auflösung von Gipslagern.

Die geologische Bedeutung der Seen beruht in erster Linie darauf, daß sie gleichsam als Filter wirken, da in ihnen infolge der verringerten Fließgeschwindigkeit alle Suspensionen zu Boden fallen. Das erkennt man besonders deutlich an den Alpenseen, in die die Flüsse trüb und schlammig hineinfließen, um sie klar und rein zu verlassen. Aber auch ausgleichend wirken die Seen, indem sie bei Hochwasser Wasser aufspeichern und dieses später allmählich wieder abgeben.

Die sich in den Seen absetzenden Sedimente sind teils chemischer, teils mechanischer Natur. Von den chemischen haben die Salzablagerungen die größte Bedeutung. Salzseen finden sich in allen abflußlosen Gebieten; ihr Salzgehalt ent-

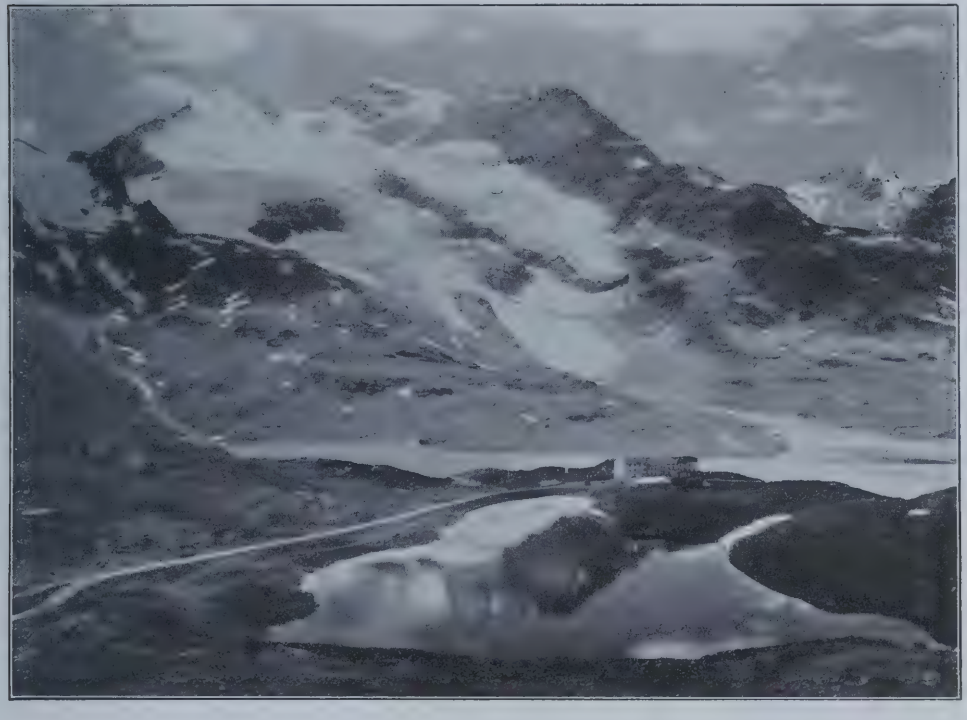


Abb. 263. Der Berninapaß mit dem Paßsee im Vordergrunde.

stammt zumeist den Gesteinen, aus denen das Salz ausblüht, wie man an den Steppen Argentiniens deutlich beobachten kann. Bei Regengüssen führen die Bäche das leicht lösliche Salz in Wannen und Vertiefungen zusammen, in denen es sich wieder absetzt.

Am häufigsten sind reine Salzseen, deren Wasser mehr oder weniger Chlornatrium enthält, seltener die Natronseen, die neben dem Kochsalz noch Natriumkarbonat und Natriumsulfat enthalten und in Ägypten, Kleinasien und Indien vorkommen, sowie die Boraxseen, die neben anderen Salzen Borax enthalten. Boraxseen finden sich in Toskana, in Persien, Tibet und Kalifornien, aus ihnen wird zum Teil der im Handel erhältliche Borax gewonnen.

Solange die Salze in geringer Konzentration vorhanden sind, lösen sie sich im Wasser; ist aber ihr Sättigungsgrad überschritten, so scheiden sich die Salze ab,

und zwar die am schwersten löslichen zuerst. An früherer Stelle hatten wir schon darauf hingewiesen, daß unter gewissen Voraussetzungen dadurch allmählich auch die mächtigen Salzlagerstätten entstanden sein können.

C. Die geologische Arbeit des Eises.

Neben dem fließenden Wasser hat auch das gefrorene eine große Bedeutung für die Umgestaltung des Landschaftsbildes, und zwar mehr nach der Seite der Anhäufung hin als nach der zerstörenden. Das Eis schichtet nicht nur riesige Schuttmassen auf, es vermag auch große Blöcke, die in ihm eingebacken sind, über weite Entfernungen hinweg zu transportieren.

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 264. Ein Karsee. Der Schwarze See oberhalb der Berliner Hütte in den Zillertaler Alpen.

Das auf dem Festland gebildete Eis kann verschiedener Herkunft sein. Es kann aus Wasser auf Flüssen und Seen entstehen, es kann sich aus Schnee und es kann sich aus Firn bilden.

Das Wassereis entsteht durch Gefrieren der Flüsse und Seen von der Oberfläche aus und setzt sich aus zahlreichen prismatischen Einzelkristallen zusammen. Daneben bildet sich mitunter auch Grundeis, das mit Erde und Schlamm vermischt ist und wegen seines geringeren spezifischen Gewichtes bald an die Wasseroberfläche aufsteigt. Wenn es als Treibeis weiterfließt, nimmt es mitunter — so auf den großen Strömen Sibiriens — mächtige Massen von Schutt und Steinen mit sich und setzt diese an anderen Stellen wieder ab.

Das Schneeeis entsteht aus großen Ansammlungen von Schnee in Vertiefungen und Bodensenkungen. Sickerwässer und der Druck des darauf lastenden Schnees rufen in den unteren Schichten eine Umkristallisation hervor; das Schneeeis zeichnet sich im Gegensatz zum Wassereis durch körnige Struktur und hohen Luftgehalt aus.

In Sibirien, dessen Boden in höheren Breiten überhaupt nicht auftaut, findet sich solches Schnee- oder Bodeneis in mächtigen, bis 100 m dicken Ablagerungen, die mit Lehm zugedeckt sind. Dieses Eis stammt in seinen ältesten Teilen noch aus dem Diluvium und enthält Reste von Mammuten in solcher Fülle, daß die neusibirische Insel Jaddejew eine wichtige Fundgrube für fossiles Elfenbein geworden ist. An anderen Stellen hat man sogar vollständig erhaltene Kadaver

von Mammuten entdeckt, die jedenfalls in den Schneewehen eingesunken waren und im Eis konserviert wurden.

Geologisch wichtiger als die genannten Formen des Eises ist das Gletscher- oder Firneis, das sich überall dort bildet, wo der zur Winterszeit fallende Schnee im Sommer nicht völlig hinwegzuschmelzen vermag.

Die Höhe der Schneegrenze ist bestimmt durch die Größe der Niederschläge und die sommerliche Erwärmung, sie ist also in den einzelnen Gebirgen ganz verschieden. In den Alpen liegt sie am wärmeren Südhang in 2700—3000 m Höhe, am Nordhang etwa 300 m tiefer. Im Kaukasus geht sie bis 3400 m, am Kilimandscharo bis 4600 m, im Himalaya bis 5500 m und im Kwenlungebirge

Abb. 265. Die Weißkugel in den Ötztaler Alpen.
Vom Firngebiet fließt der Gletscher herab, dessen Querspalten deutlich sichtbar sind.
Im Vordergrund erhebt sich die eine Seitenmoräne mit scharfem Grat.

sogar bis 6000 m hinauf. Dafür senkt sie sich in feuchten Gebieten sehr weit hinab: in Norwegen bis auf 800 m, auf Island bis auf 600 und auf Spitzbergen bis auf 300 m. Niemals erreicht sie aber — selbst in den höchsten Breiten — das Niveau des Meeresspiegels.

Die sich oberhalb der Schneegrenze anhäufenden Schneemassen verlieren allmählich ihren Halt und gleiten hinab, und zwar entweder in schneller Bewegung als Lawinen oder langsam als Gletscherströme.

Lawinen. Bei den Lawinen hat man wiederum die trockenen Staublawinen von den Grundlawinen zu unterscheiden. Staublawinen bestehen aus Schneemassen, die an steilen Abhängen niedergehen und sich dabei zum Teil in Staub auflösen. Man kann sie in den Alpen überall oberhalb der Schneegrenze beobachten;

sie kommen aber auch gelegentlich im Mittelgebirge vor. Ihre Wirkung entspricht etwa derjenigen des fließenden Wassers im Sommer, und man kann deutlich die Lawinenbahnen erkennen, die zumeist unveränderlich sind. Staublawinen üben wegen ihres lockeren Materials unmittelbar keine verheerende Wirkung aus, doch kann es infolge des Luftdruckes, den sie hervorrufen, zu Zerstörungen von Wäldern und Häusern kommen.

Weit gefährlicher sind die Grundlawinen, bei denen nicht nur der staubförmige Oberflächenschnee ins Rutschen kommt, sondern ein Stück der gesamten Schneedecke. Sie treten bei Tauwetter auf, und dann ballt sich der Schnee zu einer zähen Masse zusammen, in der auch Steine und Schutt mit zu Tal stürzen. Ihre Wirkung

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 266. Die Pasterze am Fuße des Großglockners.
Der 16 km lange Gletscher ist durch zahllose Querspalten ausgezeichnet.

ist derjenigen von Wasserfällen oder Wildbächen gleichzustellen; Grundlawinen benutzen ebenfalls genau umschriebene Bahnen und gehen auch ungefähr jedes Jahr zur selben Zeit hernieder.

Die Ursachen der Lawinen sind verschiedenartig: entweder ist es allein die Wirkung der Schwerkraft oder die Unterbrechung der schrägen Schneedecke durch den Tritt eines Tieres oder Menschen. Auch Erschütterungen des Bodens und der Luft können das Niederfahren bedingen, weshalb man manche Lawinen durch Böller abschießt. Vor allem löst auch Erwärmung Lawinen aus: der Schnee schmilzt und rutscht leichter ab, wie jeder Alpinist weiß, der deshalb lawinenbedrohte Hänge zur Mittagszeit vermeidet.

Die Massen, die mit einer großen Grundlawine ins Tal stürzen, betragen häufig mehrere hunderttausend Kubikmeter. Sie füllen den Talgrund mit Schutt an und decken ihn mit einer so mächtigen und harten Schnee- und Firnschicht zu,

Der obere Grindelwaldgletscher mit seinen Eistürmen und Moränenmassen.

IBRARY
F THE
UNI ERSITY OF ILLI O

daß Reste der Lawinen noch im Juli und August in engen Tälern sichtbar sind. Sie sind mit Staub und Schutt überdeckt und werden von den Bächen, die sie zunächst aufstauten, in Tunnels durchbrochen. Vielbesuchte Orte, an denen man solche Lawinenreste noch im Sommer sehen kann, sind die Höllentalklamm bei Garmisch, das Tal der Venter Ache im oberen Ötztal, die oberen Gründe der Zillertaler Alpen und die Eiskapelle bei St. Bartholomä.

Um Straßen oder Eisenbahnen vor Lawinen zu schützen, hat man große Verbauungen in Gestalt von Mauern, Galerien und Tunnels angelegt. Besonders großartig sind diese Bauten an der Gotthardbahn. Seit einiger Zeit begnügt man sich nicht damit, sich vor den Lawinen zu schützen, sondern man sucht ihre Bildung zu unterbinden, indem man im Abrißgebiet Reihen von Pfählen einschlägt oder, wo es angängig ist, Bäume anpflanzt, die den Schnee festhalten.

Phot. A. Czichma.

Abb. 267. Der große Gurgler Ferner in den Ötztaler Alpen.

Die Gletscher. Geologisch wichtiger als die nur zeitweilig auftretenden Lawinen sind die Gletscher oder Ferner, in Tirol auch Kees, in dem französisch sprechenden Teil der Alpen glacier genannt. Jeder typische Gletscher besteht aus zwei Teilen: dem oberen, über der Schneegrenze liegenden Firnfeld und dem von diesem ins Tal hinabziehenden eigentlichen Gletscher. Das Firnfeld ernährt den Gletscher, der an seinem unteren Ende dauernd abschmilzt.

Der Firn entsteht aus Schnee, indem dieser ständig gefriert und wieder auftaut und auf diese Weise zu lauter fest miteinander verkitteten Eiskörnern zusammensintert. Messungen haben ergeben, daß ein Meter Firn acht Meter Schnee zur Bildung benötigt. Aus dem Firn entsteht allmählich das festere Firneis und aus diesem schließlich das grobkörnige Gletschereis.

Es ist klar, daß der Firn mehr Luft enthält als das Gletschereis; er ist deshalb auch undurchsichtig und trübe, während das fast luftleere Gletschereis eine prächtige

grünblaue Färbung aufweist, die man am deutlichsten in den Spalten des untersten Gletscherabbruches bewundern kann. In tiefen Spalten kann man häufig auch noch eine deutliche Schichtung erkennen. Der im Winter fallende Schnee taut nämlich nur sehr wenig, behält also auch seinen hohen Luftgehalt und seine weiße Färbung; der Sommerschnee dagegen sintert zusammen, verliert dabei fast die gesamte Luft und wird blau. Oftmals bedeckt er sich auch, wenn neue Niederschläge nicht erfolgen, mit einer Staubschicht, die deutlich im Gletschereis erhalten bleibt.

Typisch für jeden Gletscher ist seine Bewegung, die dadurch zustande kommt, daß die Firnmassen das Gletschereis nach unten drücken. Die Geschwindigkeit, mit der ein Gletscher wandert, wechselt nach der Masse des Eises und des Firns,

Phot. E v. Drygalski.

Abb. 268. Vorderer Rand des großen Karajak-Eisstroms in Grönland.

nach der Temperatur, nach der Neigung des Tales und nach dessen Breite. Die großen Gletscher der Alpen zeigen eine tägliche Bewegung von 15—45 cm, die Zungen des Inlandeises von Grönland können aber Geschwindigkeiten von 10—20 m am Tage erreichen. Stets sind diese im Sommer größer als im Winter, und man kann im Durchschnitt ein jährliches Fortschreiten der Gletscher in den Alpen von 50—100 m annehmen. Ein Firnteilchen würde also — wie Heim berechnet hat — ungefähr 450 Jahre brauchen, um vom Gipfel der Jungfrau bis zum Ende des Aletschgletschers zu gelangen.

Da die Bewegung des Gletschers ein langsames Fließen ist, müssen wir auch die Strömungsverschiedenheiten wiederfinden, wie sie für Flüsse maßgebend sind. An den Rändern bewegt sich dementsprechend das Eis langsamer vorwärts als in der Mitte, und die Kurve des schnellsten Fließens biegt in den Bogen des Gletschers genau so aus wie der Stromstrich in Flüssen. An Schmutzstreifen oder Furchen,

die sich zu Spitzbogen ausbuchten, läßt sich diese Verschiedenheit in der Bewegung sehr gut feststellen.

Das Gletschereis kann sich beim Herniederfließen nicht an alle Unebenheiten des Bodens anpassen, es zerreißt also an gewissen Stellen und bildet Spalten, ja bisweilen löst es sich ganz in Eisklippen und -schollen auf (Abb. 265 bis 272). Querspalten entstehen überall dort, wo das Gefälle des Gletscherbettes sich plötzlich ändert, da das Eis den innigen Zusammenhang hier nicht mehr bewahren kann. Ist das Gefälle sehr stark, so entsteht — dem Wasserfall entsprechend — eine Eiskaskade mit einem Labyrinth von Türmen (Séracs) und Schollen, die sich weiter unten wieder zu einem einheitlichen Eisstrom zusammenschließen (Tafel XXI und XXII).

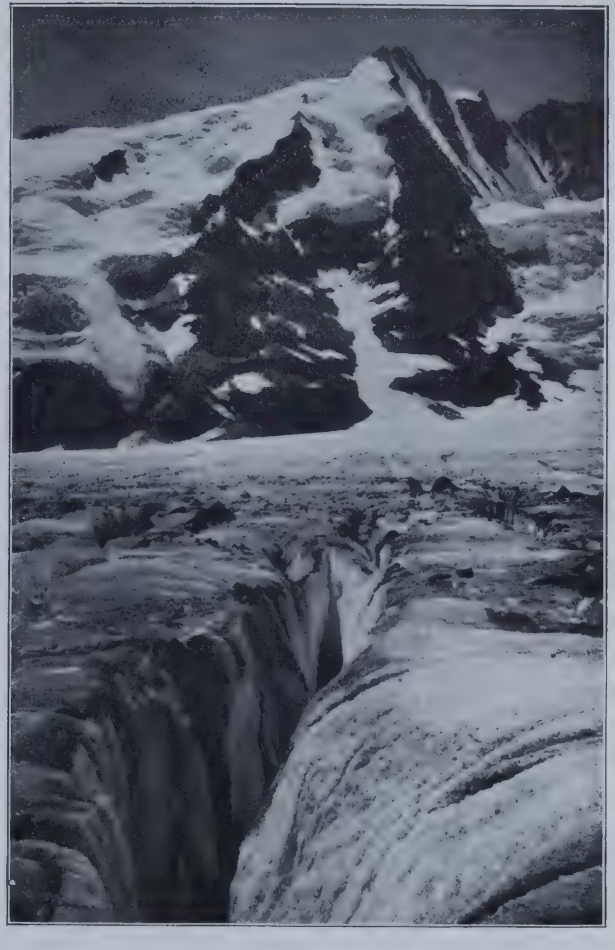


Abb. 269. Querspalte in der Pasterze am Fuße des Großglockners. Die Spalten sind bisweilen 40 m tief.

Längsspalten treten dort auf, wo das Gletscherbett eine Erweiterung erfährt, so daß auch der Gletscher selbst sich entsprechend ausdehnt. Am häufigsten kommen diese Längsspalten naturgemäß am Ende des Gletschers vor, da sich die Zunge stets ausbreitet. Die Spalten stehen hier radial angeordnet und treten an vielen Schweizer und Tiroler Gletschern sehr deutlich in die Erscheinung (Abb. 267 und 270).

Am häufigsten schließlich sind die Randspalten, die von den Seiten ausgehen und zum Gletscher hinauflaufen. Sie erklären sich durch Zerrung seitens der langsamer fließenden Randpartien des Gletschers. Da sie zumeist von Schutt oder Schnee überdeckt und deshalb nicht erkennbar sind, stellen sie eine besondere Gefahr für den Gletscherwanderer dar.

Es erscheint sonderbar, daß das so spröde Eis imstande ist, im Zusammenhang zu Tal zu gleiten und alle Unebenheiten des Bodens dabei zu überwinden. Man muß aber bedenken, daß die Eismasse von oben her einen steten Druck erfährt. Dieser Druck wandelt die Eismasse in ein Aggregat einzelner Eisstücke um, die

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 270. An der Stirn des Schwarzensteingletschers.
Durch Abschmelzung stürzen gewaltige Eisblöcke ab, die durch den Gletscherbach allmählich aufgezehrt werden. Das Eis zeigt deutliche Streifung.

sich gegeneinander verschieben können, zumal sie sich zum Teil in Wasser umwandeln und nachher wieder gefrieren. Helmholtz hat gezeigt, daß es bei Anwendung eines gleichmäßigen Druckes möglich ist, einen Eisblock in ein relativ enges Rohr hineinzupressen. So ist auch das einheitliche Zutalströmen eines Gletschers ohne weiteres verständlich, während die Spaltenbildung im Gegensatz dazu durch Zugwirkung zu erklären ist.

Phot. K. Knudsen.

Abb. 271. Brixdalgletscher in Norwegen mit starker Spaltenzerklüftung.

Infolge der Sonnenbestrahlung schmilzt nun jeder Gletscher an seiner Oberfläche ständig ab. Die zahllosen Rinnsale fließen zu Bächen zusammen, bis sie in einer Gletscherspalte verschwinden. In ihr dringen sie bis zum Felsuntergrund vor, graben sich unterhalb des Gletschers ein Bett und kommen gesammelt als Gletscherbach in einem Gletschertor wieder zum Vorschein. Die Abschmelzung des Gletschers geht um so stärker vor sich, je mehr sich der Gletscher dem warmen Talboden nähert; den Grad der Abschmelzung veranschaulichen sehr schön die Gletschertische. Dies sind Steine oder Felsplatten, die von den Gehängen auf den Gletscher gestürzt sind und das unter ihnen liegende Eis naturgemäß vor dem Abtauen geschützt haben, so daß sie sich wie Pilze über der abgeschmolzenen Gletscheroberfläche ringsum erheben (vgl. Tafel XXIII).

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 272. Absturz des Schwarzenstein-Kees bei der Berliner Hütte im Zillertal (etwa 14 m hoch).

Die in eine Spalte niederstürzenden Schmelzwässer höhlen diese aus und bilden eine Gletschermühle; Steine, welche am Boden liegen, werden in drehende Bewegung versetzt und strudeln sogenannte Gletschertöpfe aus. Diese finden sich nicht selten auf verlassenem Gletscherboden, besonders schön in dem vielbesuchten Gletschergarten von Luzern, wo sie 9 m Tiefe erreichen (Abb. 274 und 280). Auch die Gletscher der Eiszeit riefen ähnliche Bildungen hervor, wie die Riesentöpfe in dem Muschelkalk von Rüdersdorf bei Berlin erweisen. Indem wir von den Erscheinungen nunmehr zu den Wirkungen der Gletscher übergehen, müssen wir zuerst ihre Erosion ins Auge fassen. Während der Fluß wie eine Säge arbeitet, kann man die erodierende Wirkung des Gletschers mit derjenigen eines Hobels vergleichen. Der Gletscher hobelt die Täler aus und benutzt dazu vor allem die im Eis eingebackenen Steine und Geschiebe; er schleift den Boden glatt, macht aus den hervorstehenden Gesteinsmassen „Rundhöcker" und bildet wannenförmige Täler. Wenn ein Gletscher ein Talstück verlassen hat, so kann man diese Erscheinungen sehr deutlich beobachten:

Abb. 273. Das Gletschertor des Hangendferners in den Stubaier Alpen (Tirol).
Der Gletscherbach lagert im Vordergrund Sande und Kiese ab.

Abb. 274. Gletschergarten von Luzern.
Das Schmelzwasser des Gletschers hat im Felsboden mit Hilfe großer Rollsteine tiefe Höhlungen, sog. Gletschermühlen, ausgebohrt.

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 275. Durch Gletschererosion abgeschliffene Felsen an der Berliner Hütte in den Zillertaler Alpen. Der Felsboden ist glatt wie eine Tenne und zeigt zahlreiche Kritzen, an denen man deutlich die Richtung der Eisbewegung erkennen kann.

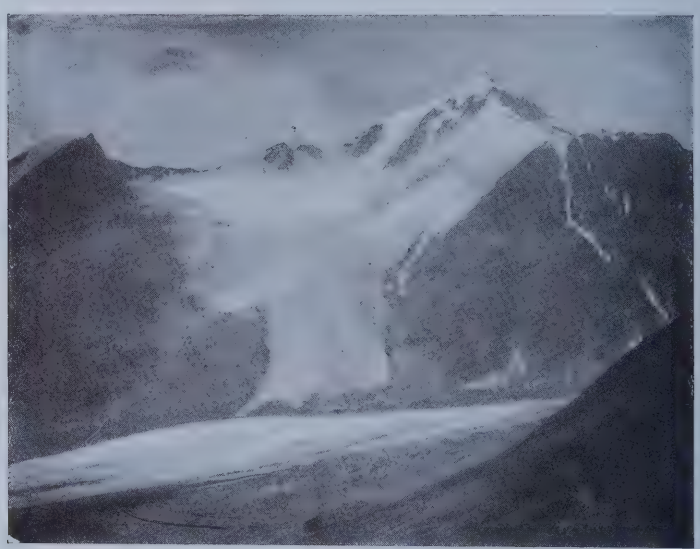
Phot. Wehrli A.-G., Zürich.

Abb. 276. Ein typisches Gletschertal. Das Lauterbrunnen-Tal mit dem Staubbachfall.

den glattgeschliffenen Untergrund zum Beispiel vor der Berliner Hütte in den Zillertaler Alpen (Abb. 274 und 275).

Die glatten Gesteine zeigen zahlreiche Rillen und Gletscherschrammen, die von den im Eis eingebackenen Gesteinen herrühren und deshalb stets in der Richtung der Eisbewegung liegen.

Daß man an der Form eines Tales schon erkennen kann, ob es einst von einem Gletscher ausgefüllt worden war, wird von manchen Gelehrten ebenso lebhaft bestritten wie es von andern als selbstverständlich hingestellt wird. Die typische U-förmige Trogform mit dem breiten Boden und den steilen Rändern wird als Ergebnis der Gletscherarbeit angesehen, ferner das Auftreten von Hängetälern, d. h. von Seitentälern, die so hoch oberhalb des Haupttales einmünden,



Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 277. Vernagtgletscher (unten) und Guslargletscher im oberen Ötztal, berüchtigt durch ihre gelegentlichen Vorstöße.

daß die Bäche in Wasserfällen in dieses hineinstürzen. Besonders deutlich ist dies am Staubbachfall im Lauterbrunnental ausgeprägt; die Mündung der Seitentäler hoch oben am Hang ist leicht erklärt, wenn man annimmt, daß bis zu jenem Niveau einst das Eis des Hauptgletschers hinaufgereicht habe, so daß die kleinen Seitengletscher einst auf ihm endigten (Abb. 276, 281 und 282).

Schließlich sind Zeugen heutiger oder einstiger Vergletscherung die Kare, nischenförmige Einbuchtungen im Felsen an der Schneegrenze, deren vertiefter Boden häufig von Wasser angefüllt ist.

Besonders interessant ist auch das Problem der Gletscherschwankungen. Im Sommer tritt eine stärkere Abschmelzung infolge der höheren Temperatur ein; der Gletscher geht also zurück, um im Winter wieder vorzustoßen. Außer diesen jahreszeitlichen Schwankungen gibt es noch solche, die sich in Perioden von durchschnittlich 35jähriger Dauer äußern. Einem raschen Vorstoß folgt ein langsameres, etwa 20 Jahre lang anhaltendes Zurückweichen. Diese Periodizität zeigen mehr

Spaltenbildung und Serats auf einem alpinen Gletscher. (Nach einem Aquarell von Hans Steiner.)

IBRARY
OF THE
UNI ERSITY OF ILLI O

oder weniger deutlich sämtliche Gletscher der ganzen Erde, so daß man sie wohl auf ebenso lange Perioden meteorologischer Art zurückführen muß.

In den letzten 50 Jahren sind die Alpengletscher sehr stark zurückgegangen, wie man besonders deutlich am Grindelwaldgletscher erkennen kann; doch scheint sich wenigstens in der Schweiz jetzt wieder ein Vorrücken bemerkbar zu machen, während die außeralpinen Gletscher weiterhin abschmelzen.

Ganz unerklärt sind die gewaltigen Schwankungen des Vernagtgletschers oberhalb von Vent im obersten Ötztal. Während er jetzt weit zurückgewichen ist und ihn der Guslargletscher nicht mehr erreicht, hatte er seinen letzten Vorstoß

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 278. Gesamtbild eines Gletschers
mit Firngebiet, Gletscherzunge, Stirn- und Seitenmoränen und Gletscherbach.
Waxeck-Kees an der Berliner Hütte, Zillertaler Alpen.

im Jahre 1846. Das Tal war damals mit einer 200 m dicken Eismasse ausgefüllt, die das senkrecht zu ihm gelegene Rofental abschloß, so daß sich das Schmelzwasser mehrerer anderer großer Gletscher dahinter staute. Nachdem es den Eiswall durchbrochen hatte, stürzten die Fluten, mit Gestein und Eis untermischt, ins Tal hinab und verwüsteten nicht nur die Ortschaften des Ötztales, sondern verursachten auch im Inntal verheerende Überschwemmungen (Abb. 277).

Die zweite geologische Wirkung des Gletschers zeigt sich in seinen Ablagerungen. Der gesamte Schutt, welcher von oben oder von unten her in den Gletscher gelangt, wird mit dem Eis fortgeführt. Man nennt die Gesamtheit der Gesteinsstücke im und am Gletscher Moränen und hat verschiedene Formen zu unterscheiden. Infolge des Spaltenfrostes und der Verwitterung stürzen Steine vom Seitenhang auf den Gletscher und bilden die zumeist geringfügigen Ober-

moränen. Die Hauptmasse des Schuttes lagert sich seitlich ab und rahmt den Gletscher als Seitenmoräne ein. Fließen zwei Gletscher zusammen, so vereinigen sich die beiden benachbarten Seitenmoränen zu einer gemeinsamen Mittelmoräne oder Gufferlinie; manche hochasiatischen Gletscher zeigen mehrere solcher Mittelmoränen. Schmilzt der Gletscher seitlich ab, so kommen die einst auf dem Eis gelegenen und mit dem Eis bewegten Seitenmoränen seitlich als Ufermoränen zur Ablagerung. Diese finden sich in den Alpen sehr häufig (Abb. 278); sie überragen den Gletscher manchmal um 100 m und zeichnen sich durch einen sehr scharfen Kamm aus.

Auch am Untergrund der Gletscher bilden sich Moränen, die man als Grundmoränen bezeichnet und von denen Stücke auch als Innenmoräne in den Gletscher eindringen. Die Grundmoräne wird durch das Eis allmählich talabwärts geschoben und dabei natürlich auch zertrümmert, so daß nur einzelne widerstandsfähige Geschiebe übrigbleiben. Die Grundmoränen finden sich überall, wo Gletscher sind oder früher waren: viele Schuttmassen des norddeutschen Flachlandes sind nichts anderes als Grundmoränen der Eiszeit (Abb. 279).

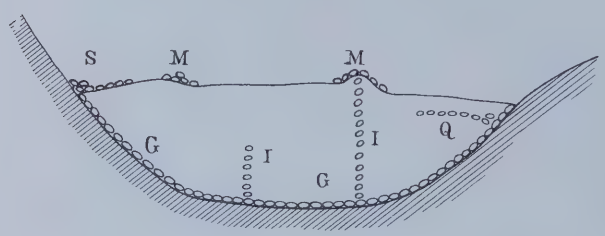


Abb. 279. Schema der Moränenbildungen eines Gletschers S = Seiten-, M = Mittel-, I = Innen-, G = Grundmoränen.

Dort, wo der Gletscher sein Ende erreicht, wird das Gesamtmaterial der Moränen abgelagert. Das feine Material aus ihnen wird durch den Gletscherbach als Gletschertrübe hinweggeführt; es verleiht den aus Gletschern gespeisten Gewässern eine milchige Trübung; die Blöcke und Geschiebe bleiben liegen und umziehen als Stirnmoräne den Gletscher in weitem Bogen. Wo ein Gletscher stark zurückgegangen ist, lagert sich ein Schuttfeld von Moränenmaterial an seinem Ende ab, das vom Gletscherbach allmählich sortiert wird.

Außer den eigentlichen Gletschern gibt es nun noch eine zweite Form der Eisbedeckung, und zwar als Binnen- oder Inlandeis. Dieses unterscheidet sich augenfällig von den Gletschern, und zwar nicht nur durch größere Mächtigkeit und Ausdehnung, sondern auch durch das Fehlen der Seiten- und Mittelmoränen. Es sind leuchtend klare Eismassen im Gegensatz zu den Gletschern der Alpen, die von der Nähe betrachtet, bisweilen mehr Schlamm- als Eisströme zu sein scheinen.

D. Die geologische Arbeit des Meeres.

Wie die Kräfte des Festlandes, so übt auch das Meer bedeutende geologische Wirkungen aus, die sich ebenfalls in zerstörende und aufbauende zerlegen lassen.

Der Beobachtung am ehesten zugänglich ist die zerstörende Wirkung der Meereswellen durch die Brandung, das heißt durch den Anprall des bewegten Wassers an die Küste, den jeder, der einmal am Meere gewesen ist, kennengelernt hat.

Abb. 280. Die Strudelwirkung des Eises.
Gletschermühlen im Gletschergarten zu Luzern.
Man erkennt sehr deutlich die durch das Schmelzwasser ausgestrudelten tiefen Löcher im festen Gestein.

Von der lebendigen Kraft der Brandung eines offenen Meeres kann man sich schwer eine rechte Vorstellung machen, haben doch Messungen ergeben, daß sie an der nordschottischen Küste im Winter dem Druck von 10000 kg auf einen Quadratmeter entsprechen, ein Betrag, der sich bei Stürmen sogar noch auf das Dreifache erhöhen kann (Abb. 283 und 284).

Große Blöcke werden von den Fluten fortgerollt, und starke Stürme bedeuten für die Molen und Hafenbauten eine ständige Gefahr, obwohl man durch vorgelegte Steinpackungen die Kraft der Wellen zu brechen sucht. Dabei benutzen die Wellen die Kiesel und Gesteine am Boden des Meeres als Geschosse, mit denen sie die Küste bombardieren. Je höher die Wellen sind und je gerader sie auf die

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 281. Ein trogförmiges ehemaliges Gletschertal.
Der Zemmgrund in den Zillertaler Alpen; Rückblick vom Grawandhaus.

Küste treffen, um so beträchtlicher ist natürlich auch die ausgeübte Wirkung. Aber auch die Küstengestalt ist dafür mitbestimmend: an flachen Sandküsten laufen sich die Wellen tot, an Steilküsten wirken sie mit ihrer ganzen Kraft ein. Ragt die Küste ohne Strand in das Wasser hinein, so bildet der ewige Pulsschlag des Meeres zunächst Löcher oder Hohlkehlen, die sich allmählich immer mehr vertiefen, bis das darübergelagerte Gestein den Halt verliert und abstürzt. Das niedergestürzte Material schützt so lange die Küste, bis es von den Wellen wieder hinweggeführt ist, dann beginnt die Zerstörung der Küste von neuem. Die Zerstörbarkeit der Küste hängt auch von der Art des Gesteins und seiner Lagerung ab.

Sehr deutlich zeigt sich die starke Zerstörung der Steilufer an der Insel Helgoland, die zur Diluvialzeit noch mit dem Kontinent im Zusammenhang stand, jetzt aber durch künstliche Dämme geschützt werden muß (Abb. 287 und 292).

An den Steilküsten Rügens kann man die Zerstörung durch die winterliche Brandung ebenfalls sehr gut verfolgen. Rings um die einzelnen Inselhorste (Jasmund, Wittow) laufen breite Sockel, die vom Meere abgetragen worden sind. Bei Arcona schätzt man den Landverlust in den letzten 100 Jahren auf 300 bis 400 m. Aber auch an den Lehmböschungen der Küste, etwa zwischen Binz und Sellin, muß die Hochuferpromenade immer wieder landeinwärts verlegt werden, da ganze Komplexe mit Sträuchern und Bäumen zum Abgleiten kommen. So wie hier, tritt es überall an der deutschen Steilküste in die Erscheinung.

Abb. 282. Typischer Talschluß eines ehemaligen Gletschertales.
Der Adelboden mit Wildstrubel in der Schweiz.

Unterwaschene Uferwände, schräggestellte oder schon abgestürzte Bäume bekunden den steten Abtrag des Landes (Abb. 288).

Demgegenüber ist das Ausmaß der Zerstörung durch die Gezeiten viel geringer. Auf sie geht indessen als charakteristische Form die Bildung der Wattenmeere zurück, wie wir sie an der Nordseeküste vor uns sehen. Durch die an- und abfließenden Strömungen sind Rillen und Kanäle ausgetieft, die sogenannten Prielen, die selbst zur Ebbezeit, wenn der übrige Meeresboden trocken liegt, mit Wasser gefüllt bleiben.

Ein zweites Produkt der Gezeitenströmungen sind die Ästuare, Erweiterungen von Flußmündungen, wie sie für Ems, Weser und Elbe, für Themse, Loire, Garonne, Tejo, Ob, St. Lorenzstrom und Amazonas charakteristisch sind.

Abb. 283. Brandungswoge an der englischen Küste.
Die Brandungswogen erreichen eine Kraft,
die einem Druck bis 10000 kg auf den Quadratmeter entsprechen.

Abb. 284. Brandung an der Ostsee.
Das Wasser hat deutliche Gruben in den Felsen ausgewaschen.

Abb. 285. Durch Meeresbrandung geschaffene Naturbrücke bei Lüderitzbucht.

Abb. 286. An der Küste von Capri. Wirkung der Brandung auf das Steilufer.

Sie werden durch hohe, in den Fluß mit großer Gewalt und Schnelligkeit eindringende Flutwogen ausgekolkt. Was aber das Meer an der einen Stelle dem Lande entreißt, baut es an einer anderen wieder auf.

Verfolgen wir einmal das Spiel der Wellen, so erkennen wir sogleich, daß die auflaufende Woge Steinchen und Sand auf den Strand absetzt, sie aber zum größten Teil beim Zurückweichen wieder aufnimmt. Solange die Brandung senkrecht auf das Land auftrifft, bleibt das feste Material an ungefähr der gleichen Stelle, treten aber Winde auf, so wird es im Zickzack bewegt. In der Ostsee haben wir vorwiegend westliche Winde, deshalb wandert hier der Sand bei der Küstenversetzung nach Osten. Wo die Küste — wie an der südlichen Samlandküste und bei Memel — nach Norden läuft, muß die Wanderung zum Stillstand kommen. Wo anderseits die Windwirkung aufhört, setzt sich der Sand ab und bildet Sandbänke. An der Ostseeküste nennt man die an das Festland angesetzten Landzungen *Nehrungen* und die zwischen ihnen und dem Kontinent gelegenen Meeresflächen *Haffs*. Durch einen Kanal ist das Haff zumeist mit dem offenen Meer verbunden, doch kann sich die Öffnung allmählich ganz schließen, und es entsteht ein Binnensee.

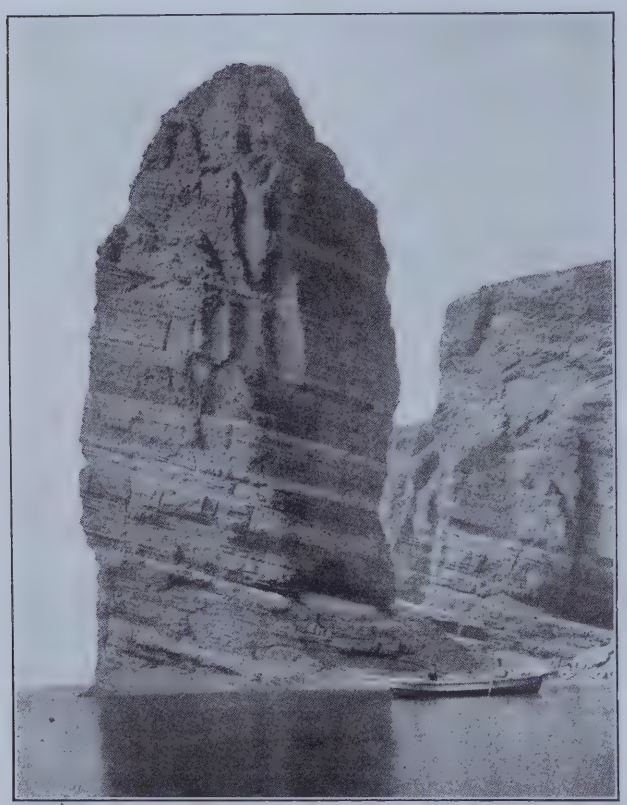


Abb. 287. Der Mönch an der Küste von Helgoland. Das Meer arbeitet unaufhörlich an der Zerstörung Helgolands.

Kleinformen sind die sogenannten *Haken*, welche sich an vielen Küstenvorsprüngen ansetzen. Besonders schön sind sie auf Rügen entwickelt, so auf der Insel Hiddensöe, auf der sich der 14 km lange Gellen an den steilen Inselkern des Dornbusches angesetzt hat und wo die Horste Wittows und Jasmunds durch lange, bogenförmige Sandhaken miteinander verbunden sind (Abb. 291).

An den Küsten wird ein Teil des Gesteins so weit auf den Strand geworfen, daß es in Form eines *Küstenwalles* liegen bleibt, weil es nur bei hohem Wasserstand vom Meere erreicht wird. Solche Uferwälle finden sich in bescheidenem Ausmaß auch an unserer Ostseeküste; sie bestehen aus größeren und kleineren Geröllen, untermischt mit Muschelresten und Tang (Abb. 289 und 295).

Phot. Wehrli A.-G., Zürich.

Ein Gletschertisch auf dem Macugnaga-Gletscher.

Die Deckplatte hat das darunterliegende Eis vor dem Abschmelzen bewahrt, so daß sie sich jetzt mehrere Meter über der mit Moränenschutt bedeckten Gletscheroberfläche erhebt.

IBRARY
OF THE
UNI ERSITY OF ILLI O

Ungleich bedeutender als diese Sedimente sind die im Meere selbst abgelagerten, die zum großen Teil den Stoffen des Festlandes entstammen, zum Teil aber auch von den im Meere lebenden Organismen abgeschieden werden. Das Meerwasser beschleunigt das Zu-Boden-Sinken der Stoffe, die deshalb zumeist schon in Küstennähe abgelagert werden.

Diese Sedimente sind genau wie die Ablagerungen früherer Erdperioden deutlich geschichtet, so daß eine Übereinstimmung zwischen beiden herrscht und daß wir für die Entstehung der Sedimentgesteine ungefähr dieselben Verhältnisse annehmen dürfen, wie sie heute herrschen.

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 288. Wirkung des Meeres auf die Lehmküste Rügens. Das herabrutschende Gestein bringt auch große Bäume zum Sturz.

Nach der geographischen Verteilung können wir die Meeressedimente in zwei große Gruppen einteilen, in Küstenablagerungen und in Tiefseeablagerungen, die ihrerseits wieder in Unterabteilungen zerfallen.

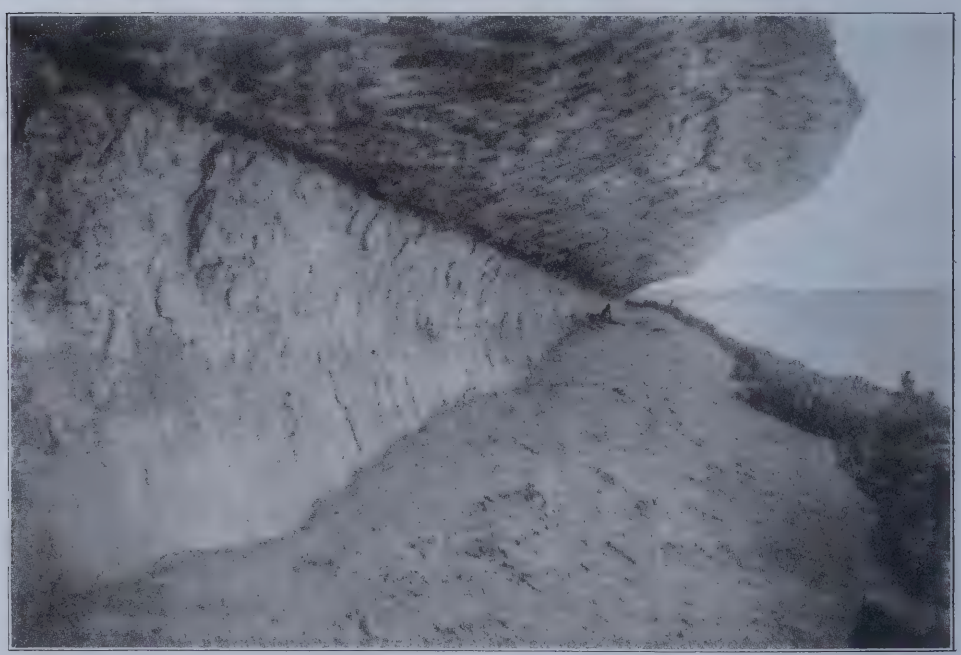
Die Küsten- (Litoral-) ablagerungen werden in der Nähe der Küsten, also im etwa 200 m tiefen Flachmeer abgesetzt und bilden um die Kontinente einen Gürtel, der durchschnittlich 250 km breit ist (Abb. 289).

Gehen wir vom Strand aus, so begegnen wir zunächst Strandablagerungen, die aus zertrümmerten Stücken der Küstengesteine, untermischt mit allerlei Schalen von Muscheln, Schnecken, Krebsen und Stachelhäutern, bestehen. Darauf folgen die feineren, sandigen Küsten- oder Schelfablagerungen, die bei etwa 20 m Meerestiefe beginnen, so daß sie sich in deutlicher Schichtung absetzen können, die allerdings durch Strömungen wieder zerstört wird.

Weiter meereinwärts folgen die sogenannten Küstenschlicke, feinsandige und tonige Sedimente verschiedener Zusammensetzung. Nach der Farbe und den Bestandteilen dieser die zwischen 200 und 4000 m Tiefe gelegenen Meeresbecken erfüllenden Sedimente unterscheidet man den dunklen Schlick, dessen Färbung auf beigemischtes schwarzes Eisensulfid zurückgeht, das aus der Reduktion von Sulfaten durch verwesende organische Stoffe entstanden ist, und den ähnlichen

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 289. Blick auf den Blockstrand bei Binz auf Rügen.
Die aus dem Geschiebelehm der Uferböschung herausgewaschenen Blöcke bleiben am Strand liegen. Sie bilden deutliche Geröllbänke, die die Steilufer Rügens umgeben und die einen genauen Anhaltspunkt über das Ausmaß der Küstenzerstörung liefern.



Phot. L. Berg.

Abb. 290. Brandungshohlkehle am Ufer der Nicolai-Insel im Aralsee.
Die Brandung hat im Lehmufer eine sehr tiefe Rinne ausgewaschen.

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 291. Nehrungshaken auf der Insel Vilm an der Südostküste Rügens.

Abb. 292. Die Helgoländer Küste bei Ebbe.
Man erkennt deutlich die von den Meereswellen zerstörten Schichten der einst viel größeren Insel.

Rotschlamm mit Beimengung von Eisenoxyd, ferner den Grünsand, dessen Farbe auf Körnchen von Glaukonit, einem wasserhaltigen Silikat, herrührt und der, wie der dunkle Schlick, reichliche organische Beimengungen enthält.

Viel verbreitet ist als dritte Form der Kalkschlick, der zum überwiegenden Teil aus weißem Kalk besteht und zahllose Reste von kalkschaligen Organismen, wie Korallen, Kalkalgen, Weichtiere, enthält. Kalkschlick erfüllt weite Teile des Pazifiks, er tritt aber auch im Indischen und Atlantischen Ozean in großer Ausdehnung auf.

Abb. 293. Die blaue Grotte auf Capri, hauptsächlich ein Werk der Meereserosion.

Diesen Flachseesedimenten stehen die Tiefseeablagerungen gegenüber, die sich in den etwa die Hälfte des gesamten Meeresareals ausmachenden tieferen Becken ansammeln. Nur ganz allmählich geht hier die Ablagerung vor sich, und die entstehenden Sedimente weisen — im Gegensatz zu den bisher genannten — einen äußerst eintönigen Charakter auf.

Man kann deshalb auch nur nach der petrographischen Eigentümlichkeit zwei Gruppen unterscheiden, die kalkreichen und die kalkfreien Tiefseesedimente.

Die ersteren gehen auf Organismen zurück, und zwar sind es größtenteils die Foraminiferen, Einzeller mit Kalkschalen buntester Mannigfaltigkeit, die sie bilden. Gümbel fand in dem Kalkschlick in der Nähe der Insel Neuamsterdam in einem Kubikzentimeter 5000 größere, 200000 kleine Foraminiferen, 200000 Bruchstücke davon, etwa 7000000 winzige Kalkalgen (sog. Kokkolithen), 5000000 Kalk-

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 294. Wirkung der Meeresbrandung an einer Verwerfungsspalte. Das lockere Gestein, das die Spalte ausfüllte, ist dem Wogenanprall restlos zum Opfer gefallen, so daß sich eine tiefe, schmale Bucht gebildet hat, während die seitlichen harten Schichten erhalten blieben.

stäbchen, 250000 Reste von Schwämmen, 100000 Radiolarien und Kieselalgen und 150000 Mineralkörnchen. Da die Foraminiferenschalen bei hohem Druck aufgelöst werden, findet sich dieses nach der Hauptart auch Globigerinen-

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 295. Junger Geröllstrand in der Hohwachter Bucht, östlich der Kieler Bucht. Der Strand ist von Geröllen aller Größen förmlich eingehüllt.

schlick genannte Sediment meist in Tiefen von etwa 1000 m. Hauptsächlich ist der Globigerinenschlamm im Atlantik verbreitet; er findet sich aber auch in anderen Meeren und stellt das wichtigste organische Sediment dar (Abb. 297).

In seiner Verbreitung wird er allerdings übertroffen durch den roten Ton, der alle tieferen Teile des Pazifischen Ozeans erfüllt, aber auch im Indischen und Atlantischen Ozean vorkommt. Er ist vollständig kalkfrei, genau wie der Radiolarienschlamm und der Diatomeenschlamm, die nur Varietäten des Tiefseetons sind, untermischt mit zahlreichen Resten von Radiolarien bzw. von Kieselalgen, die ihm einen beträchtlichen Gehalt von Kieselsäure übermitteln.

E. Die geologische Arbeit der Organismen.

Die organische Welt wirkt mehr auf die Bodengestaltung ein, als es zunächst den Anschein hat. Während die durch sie hervorgerufenen Zerstörungen geringfügig sind, haben die Neubildungen eine beträchtliche Bedeutung.

Die Pflanzenwelt begünstigt die Verwitterung in mannigfaltiger Weise. Algen und Flechten setzen sich auf Felsen fest und lockern deren Oberfläche, Bakterien verschiedener Art entnehmen dem Boden Stoffe, und höhere Pflanzen wirken nicht nur mechanisch ein, indem sie ihre Wurzeln in das Gestein einsenken, sondern auch chemisch, indem sie durch abgeschiedene Säuren Gesteine auflösen. Bei der Verwesung der Pflanzen entstehen Kohlensäure und andere chemische Verbindungen, die allmählich aus dem felsigen Untergrund Dammerde oder Ackerkrume bilden, welche die Grundlage für die landwirtschaftliche Kultur liefert.

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 296. Sandstrand auf der Insel Rügen (Binzer Bucht).

Die Tiere zerstören den Boden durch Anlage von Höhlen und Gängen, in die die Atmosphäre eindringen kann. Bedeutend ist die Leistung der Regenwürmer, die nicht nur den Boden durchlüften und dadurch der Verwitterung eher zugänglich machen, sondern die auch ständig Erde in größeren Tiefen fressen und an der Oberfläche als Kothaufen wieder absetzen.

Schließlich darf der Mensch nicht vergessen werden, der überall als geologischer Faktor in die Erscheinung tritt, sei es, daß er künstliche Abtragungen (Straßenbau, Steinbrüche) vornimmt, sei es, daß er durch seine Kulturarbeit die natürlichen Verhältnisse wesentlich umgestaltet.

Unter den Neubildungen der Pflanzenwelt spielen die Kohlen die Hauptrolle, deren Entstehung schon früher (S. 179) behandelt wurde.

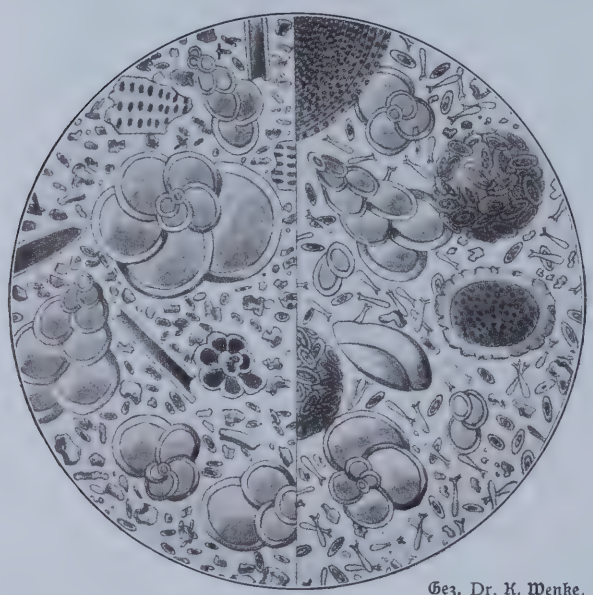
Auch als Kalkbildner haben die Pflanzen eine große Bedeutung. Kalkalgen bilden Schichten von z. T. großer Mächtigkeit, so vor allem die Gyroporella- und Diplopora-Arten, die die gewaltigen Kalk- und Dolomitmassen der Ostalpen wesentlich mit aufbauen.

In kalkreichen Gewässern umziehen sich Wasserpflanzen, vor allem Süßwasseralgen mit einer Kalkschicht und rufen Abscheidungen von Kalk (Travertin oder Sinter) hervor. Auch Kieselalgen bilden Sedimente, die als Diatomeenerde oder Kieselgur bei Berlin, in der Lüneburger Heide und bei Bilin in Böhmen vorkommen.

Weit bedeutsamer ist allerdings die Kalkbildung der tierischen Organismen. Kalkschalen häufen sich zu großen Schichten auf, und die im Meere lebenden Organismen entnehmen dem Wasser immer von neuem Kalziumkarbonat, um ihre Schalen aufzubauen. Besonders verbreitet sind die Korallentiere, deren Skelette ungeheuere Massen, die sogenannten Korallenriffe, bilden.

Es gibt eine große Anzahl von Korallentieren, doch sind es vor allem die ästigen, schnell wachsenden Formen, welche die Riffe aufbauen. In dem Gewirr ihrer Äste und Zweige leben noch zahllose Muscheln, Schnecken und Stachelhäuter, deren Schalenreste sich mit den Korallenskeletten verbinden und zusammen das Riff bilden.

Korallen sind sehr empfindliche Tiere. Sie verlangen eine Wassertemperatur über 20° C, klares, weder mit Süßwasser vermischtes, noch durch Trübungen verunreinigtes Wasser und gute Lichtverhältnisse, so daß sie nicht tiefer als etwa 40 m unter dem Meeresspiegel gedeihen.



Gez. Dr. K. Wenke.

Abb. 297. Links: Geschlämmte weiße Schreibkreide, rechts: Globigerinenschlick im mikroskopischen Bild.

Korallenriffe finden sich nicht nur in den heutigen Meeren, sondern auch in den Meeresablagerungen früherer Formationen. Tertiäre Riffe kommen auf Sizilien vor, der Kreidekalk der Alpen ist sicher eine Korallenriffbildung, genau wie die Jurakalke in Württemberg und in den Alpen. Auch die gewaltigen Triasmassen der Südalpen, so der Schlern, sind als Riffe zu deuten und ebenso viele Kalke in der devonischen Formation, z. B. der Klotz des Ibergs bei Bad Grund im Harz. Schließlich sind Korallenkalke auch in den Formationen des geologischen Altertums durchaus keine Seltenheit. Sie zeugen für ihre Entstehung nicht nur durch ihren schichtungslosen Aufbau, sondern auch durch ihre Versteinerungen und durch ihr Aufsetzen auf das Nebengestein. An manchen fossilen Riffen kann man sehr deutlich das allmähliche Übergehen in das geschichtete Nebengestein verfolgen. An der Grenze finden sich dann auch zahlreiche Versteinerungen, während sie im Innern des Riffes fehlen, weil sie hier infolge von Umwandlung des Kalkes in Dolomit zerstört wurden. Besonders deutlich wird dies bei den Schwammriffen des fränkischen Juras und bei den Bryozoenriffen Thüringens, die in der Hauptsache durch mikroskopisch kleine, in Kolonien lebenden Moostierchen, einer Anhangsgruppe der Würmer, aufgebaut wurden. Als deutliches Band umziehen diese Bryozoenriffe den Thüringer Wald; besonders schön sind sie bei Bad Liebenstein einerseits, bei Pößneck anderseits entwickelt. Die bizarren Riffmassen treten hier sehr deutlich in die Erscheinung und tragen wesentlich zur Gestaltung des Landschaftsbildes bei.

* * *

Fünfter Teil

Die Geschichte der Erde

Grundzüge der historischen Geologie

Von Dr. C. W. Schmidt

Gliederung des fünften Teiles

Seite

I. Die azoische (archäische) Gesteinsgruppe 335

II. Die eozoische (archäozoische) Gesteinsgruppe 335

III. Die paläozoische (primäre) Formationsgruppe 336

A. Das Kambrium 337
B. Die Silurformation 339
C. Die Devonformation 345
D. Die Steinkohlenformation 349
E. Die Perm (Dyas-) formation 353

IV. Die mesozoische Formationsgruppe 359

A. Die Triasformation 360
a) Der Buntsandstein 361
b) Der Muschelkalk 362
c) Der Keuper 364
d) Die ozeanische Trias 365
B. Die Juraformation 368
a) Der schwarze Jura (Lias) 370
b) Der braune Jura (Dogger) 372
c) Der weiße Jura (Malm) 372
C. Die Kreideformation 375
a) Die untere Kreide in Nord- und Mitteleuropa . . 377
b) Die untere Kreide in Südeuropa 378
c) Die obere Kreide in Nord- und Mitteleuropa . . 378
d) Die obere Kreide in Südeuropa 381

V. Die neozoische Formationsgruppe 384

A. Die Tertiärformation 384
a) Das Alttertiär (Paläogen) 385
b) Das Jungtertiär (Neogen) 389
B. Die Quartärformation 392
a) Das Diluvium 392
b) Das Alluvium 405

Die historische Geologie ist derjenige Zweig der geologischen Wissenschaft, der sich mit der geschichtlichen Entwicklung der Erde befaßt. Da nun aber die Ereignisse früherer geologischer Perioden nur aus den Gesteinsschichten abgeleitet werden können, ist die historische Geologie nichts anderes als eine Beschreibung und Deutung der einzelnen Schichten (= Stratigraphie).

Die historische oder stratigraphische Geologie ist eine relativ junge Wissenschaft. Seltsamerweise wußte das Mittelalter die zahlreichen Versteinerungen in den Schichten der Erde nicht richtig zu deuten; Zufallsprodukte, Spiele der Natur sollten sie sein. Wenn ein überlegener Geist wie Lionardo da Vinci aus dem Auftreten versteinerter Meeresmuscheln und -schnecken in den Alpen den Schluß zog, daß diese Berge einst von Meeren bedeckt gewesen sein müßten, so wurde damit eine der ersten Grundlagen der historischen Geologie geschaffen. Je mehr man nun die Erdrinde erforschte — und zwar aus den praktischen Gründen des Bergbaues —, um so mehr fand man auch Versteinerungen, und man erkannte allmählich, daß diese in den einzelnen Teilen eines Landes wesentliche Unterschiede aufweisen können. Verschiedene Faunen lernte man kennen, die sich von den heute auftretenden wesentlich unterscheiden, und der Schluß lag nahe, daß eine Fauna bzw. Flora um so älter sein muß, je mehr sie sich von der heutigen hinsichtlich ihres Aussehens entfernt, und daß sie um so jünger ist, je ähnlicher sie den heute lebenden (rezenten) Tier- und Pflanzenformen ist. Damit war ein historisches Moment gegeben, man konnte nach dem Vorhandensein von Versteinerungen, nach dem Fossilinhalt, feststellen, ob eine Schicht jünger oder älter als eine andere sei. Diese paläontologische Methode setzt natürlich eine sehr genaue Kenntnis der versteinerten Floren und Faunen voraus.

Ein zweiter Weg, das Alter einer Schicht zu bestimmen, wird mit der stratigraphischen Methode beschritten, indem man die Lagerung einer Schicht gegenüber den anderen ins Auge faßt. Wir knüpfen hier an das im tektonischen Abschnitt (S. 189) Behandelte an, wo wir festgestellt hatten, daß das Hangende einer Schicht immer später abgelagert worden sein müsse, als das Liegende, eine normale, später nicht mehr gestörte Sedimentation vorausgesetzt. Stellen wir uns einen Komplex ungestörter Schichten vor, durch den ein Tal führt, so sind naturgemäß die Schichten am Talgrund älter als jene, welche die Kuppen der Talränder bilden.

Eine Schwierigkeit liegt nun darin, daß an ein und derselben Stelle niemals alle Ablagerungen auftreten, so daß es unmöglich ist, mit einem Bohrloch etwa alle Schichten, die sich im Lauf der Erdgeschichte gebildet haben, zu durchstoßen.

Das hängt mit dem Wechsel von Meer- und Landbedeckung zusammen. Zwar gibt es große Gebiete auf der Erde, die auf die Dauer unermeßlicher Zeiträume stets vom Meer bedeckt waren, so daß wir hier in den Sedimenten eine fortschreitende Entwicklung des Lebens zu beobachten imstande sind, der größere Teil der Erdoberfläche (gegen 60%) ist aber stetigem Kampf zwischen Land und Wasser unterworfen gewesen, so daß die Entwicklung des Lebens hier plötzlich aussetzt, um an einer anderen Stelle weiterzugehen. Um dies verständlich zu machen, stellen wir uns einmal ein Meeresbecken der geologischen Vergangenheit vor, in dem eine reiche Tierwelt zu Hause ist. In den Ablagerungen dieses Meeresbeckens werden wir zahllose Reste dieser Fauna antreffen, da deren Schalen und Skelette nur zum Teil zerstört, zum anderen aber im Schlamm eingebettet und erhalten werden. Aber nicht in der ganzen Ausdehnung des Beckens herrschen die gleichen Verhältnisse, an den Rändern, in der Flachmeer- und Strandzone, wohnen zu derselben Zeit ganz andere Geschöpfe als in den mittleren Tiefen und in der Tiefsee. Auch die Ablagerungen sind, wie wir schon wissen, ganz verschiedenartig, so daß der faunistischen Variante auch eine petrographische entspricht. Der Geologe nennt die wechselnde Ausbildung eine Fazies und muß dieser sein besonderes Augenmerk schenken.

Wir wollen nun annehmen, daß das gedachte Meeresbecken aus irgendwelchen Ursachen, vielleicht infolge einer allmählichen Hebung seines Bodens, nach einer Seite hin abfließt. Es überschwemmt also dort ein festes Land und bildet darauf im Laufe der nächsten Zeit die verschiedenartigsten Ablagerungen. Zunächst arbeiten die Wellen den Festlandsboden um, sie schlämmen ihn aus, bilden Gerölle und Sande, und diese setzen sich nun zuerst am Boden ab. Jetzt folgen diejenigen Meerestiere, die Flachseebewohner sind: ihre Schalenreste mengen sich mit den ersten Ablagerungen des jungen Meeres. Je mehr dieses auf das Land überströmt, um so tiefer wird es; es können also nun die tierischen Hauptformen folgen mit ihren spezifischen Ablagerungen, und wenn wir annehmen, daß das Meer auf dem neuen Boden sehr lange Zeiträume hindurch stehen bleibt, so wird sich die weitere Entwicklung der Tierwelt hier deutlich nachweisen lassen, während an der bisherigen Stelle sich allmählich festes Land aus dem ursprünglichen Meeresboden gebildet hat und damit die Entwicklung des marinen Lebens abgeschnitten erscheint.

Diese Ausführungen mögen genügen, um zu erweisen, daß die petrographische Ausbildung eines Gesteins allein über sein Alter nichts aussagt. Ganz gleichartige Gesteine können zu den verschiedensten Zeiten der Erdgeschichte gebildet worden sein, wie anderseits zu ein und derselben Zeit die unterschiedlichsten Gesteine entstanden. Daraus geht schon hervor, daß die Altersbestimmung in erster Linie auf den paläontologischen Inhalt der Schichten zurückgehen muß. Die Versteinerungen sind bezeichnend für die einzelnen Schichten; gleichartige Faunen sind ein Beweis für gleich alte Schichten. Nun sind allerdings nicht alle vorkommenden Versteinerungen geeignet, einen Anhalt zu geben, da gewisse Tier- bzw. Pflanzenformen fast unverändert lange Zeiten hindurch gelebt haben, so daß sie für die Bestimmung eines kürzeren Zeitabschnitts untauglich sind. Andere sehr bezeichnende Versteinerungen sind wiederum zu selten, als daß sie für eine schnelle Er-

kennung einer Schicht in Frage kämen. Die Bedingungen für ein gutes „Leitfossil" sind demnach große horizontale und geringe vertikale Verbreitung oder, einfacher gesagt, möglichst häufiges Auftreten im Rahmen einer möglichst wenig mächtigen Schicht. Im weiteren Verfolg unserer Betrachtungen werden wir eine größere Reihe solcher Leitfossilien kennen lernen. Es sind, dies sei ausdrücklich festgestellt, nicht Formen, die sich durch besonders interessante anatomische oder entwicklungsgeschichtliche Verhältnisse auszeichnen, sondern ganz einfach Erkennungsmarken für eine Schicht, Denkmünzen der Erdgeschichte, die einen Zeitabschnitt mit derselben Sicherheit zu bestimmen gestatten, wie ein Kunsthistoriker am Baustil einer Kirche das Jahrhundert ihrer Entstehung abliest.

Eines muß allerdings festgehalten werden, daß nämlich durch die genannten Methoden nur immer das relative, nie das absolute Alter einer Schicht festgestellt werden kann. Wir können erkennen, ob eine Schicht älter oder jünger ist als eine andere, wir können eine Kette von Schichten bilden, von denen eine jede ein immer älteres Glied darstellt, wir wissen aber nicht anzugeben, wieviel Jahrtausende, ja Jahrhunderttausende vergangen sind, seitdem eine bestimmte Schicht zum Absatz kam. Zwar hat es nicht an Versuchen gefehlt, auch das absolute Alter der Schichten zu bestimmen; wie verschieden die Ergebnisse aber sind, erkennt man daraus, daß das Gesamtalter der Erde von Lord Kelvin auf 20 Millionen, von Wallace auf 500 Millionen, von Geikie sehr vorsichtig auf 100 bis 680 Millionen Jahre geschätzt worden ist.

Von welcher Seite man auch das Problem angeschnitten hat, stets sind genügend Fehlerquellen offen, um allen Berechnungen die Grundlage zu entziehen.

Man teilt nun die gesamten Schichten der Erde in größere Abteilungen ein, denen man den Namen einer Formation gibt. Jede Formation gliedert sich wieder in zahlreiche Abteilungen oder Stockwerke, diese in Stufen und diese in Lager oder Zonen. Die Zonen schließlich bestehen aus den einzelnen Schichten.

Anderseits werden die einzelnen Formationen zu Gruppen zusammengefaßt oder, zeitlich gesprochen, zu Zeitaltern.

So ergibt sich folgende Einteilung der Schichten auf der Erde, die gleichsam ein Idealprofil durch die gesamten Absatzgesteine darstellt:

V. Neozoische Gruppe, Neuzeit der Erdgeschichte.

2. Quartärformation . .	Alluvium. Diluvium.
1. Tertiärformation . .	Pliocän Miocän. Oligocän. Eocän. Paleocän.

IV. Mesozoische Gruppe, Mittelalter der Erdgeschichte.

3. Kreideformation . . .	Obere Kreide. Untere Kreide.

2. Juraformation	Oberer Jura (Malm). Mittlerer Jura (Dogger). Unterer Jura (Lias).
1. Triasformation. . . .	Keuper. Muschelkalk. Buntsandstein.

III. Paläozoische Gruppe, Altertum der Erdgeschichte.

5. Permformation	Zechstein. Rotliegendes.
4. Karbonformation . .	Oberes Karbon (produktives Karbon). Unteres Karbon (Kulm und Kohlenkalk).
3. Devonformation . . .	Oberes Devon. Mittleres Devon. Unteres Devon.
2. Silurformation . . .	Oberes Silur. Unteres Silur.
1. Kambrische Formation	Oberes Kambrium. Mittleres Kambrium. Unteres Kambrium.

II. Eozoische Gruppe (Algonkium), Urzeit der Erdgeschichte.

I. Azoische (archäische) Gruppe (Urgebirge).

Über den ältesten Zustand der Erde können nur Vermutungen ausgesprochen werden, obgleich sicherlich die Zeit von der Entstehung der Erde bis zur Bildung des ersten Lebens weit länger gedauert hat als die ganze übrige Erdgeschichte.

Auf das Sternzeitalter der Erde, während dessen sie als glühendes Gestirn ihre Bahn um die Sonne zog, folgte die Bildung der Erstarrungskruste während des azoischen oder abiotischen Zeitalters. Aus dem leuchtenden wurde allmählich ein dunkler Stern. Aber die Erstarrungskruste war außerordentlich heiß und kühlte sich nur ganz allmählich ab. Deshalb war auch in der ersten Zeit die Bildung von flüssigem Wasser unmöglich. Erst als die kritische Temperatur des Wassers erreicht wurde, konnte sich aus dem Wasserdampf das flüssige Element kondensieren. So folgte auf eine wasserlose (anhydrische) Periode eine ozeanische, in der sich die Urmeere herausbildeten. Organisches Leben war aber auf unserem Planeten auch zu jener Zeit noch nicht möglich, dies entwickelte sich erst in den späteren Perioden.

Wir wollen nun die einzelnen Formationen der Erdgeschichte, ihre Verbreitung, ihre klimatischen und biologischen Verhältnisse behandeln, so daß wir im ganzen eine Entwicklung unseres Erdbildes, eine Paläogeographie im weitesten Sinne des Wortes erhalten.

I. Die azoische (archäische) Gesteinsgruppe.

(Das Urgebirge.)

Das azoische Zeitalter setzt mit dem Augenblicke ein, da sich die erste Erstarrungskruste auf der Erde bildete, und es schließt mit jenem Zeitpunkte ab, in dem das erste organische Leben auf unserem Planeten auftrat. Die Gesteinsgruppe besteht aus kristallinen Gesteinen, teils Massengesteinen, wie Granit, Syenit, Quarzporphyr, teils kristallinen Schiefern, wie Gneis, Glimmerschiefer, Phyllit. Daneben treten in geringerem Maße Quarzite, Serpentin, körnige Kalke und andere Gesteine hinzu.

Die azoische Gesteinsgruppe weist eine außergewöhnliche, oft viele Kilometer betragende (in Kanada auf etwa 16000 m, in Böhmen auf 30000 m geschätzte) Mächtigkeit auf; sie findet sich überall auf der Erde im Untergrunde, weshalb man ihr auch die Bezeichnung eines Urgebirges gegeben hat. Als eine Kugelschale umzieht das Urgebirge die ganze Erde, zum Teil an der Oberfläche anstehend, wie in Skandinavien, in Kanada oder in Australien, zumeist aber in der Tiefe verborgen und von jüngeren Schichten überdeckt.

Die kristallinen Gesteine dieses Archaikums treten in zwei Ausbildungsformen auf. Entweder bilden sie große, ausgedehnte Massive: so in Skandinavien und Finnland, die deshalb geologisch zu Fennoskandia zusammengefaßt werden und in manchen deutschen Mittelgebirgen, wie im Schwarzwald, im Spessart und im Thüringer Wald. Oder sie bilden die Zentralzone von Kettengebirgen, so von Himalaya, Anden, Atlas und anderen.

In beiden Fällen weisen die Gesteine stets eine überaus starke Faltung auf, sie sind zerstückelt, emporgehoben, umgebogen und überschoben, was ja bei ihrem hohen Alter auch nicht weiter wundernehmen kann. Die Sedimente, welche sich im jüngeren Abschnitt, in der ozeanischen Periode, bilden konnten, sind durch den Druck und die tektonischen Vorgänge ebenfalls umgewandelt worden und häufig schwer zu deuten. Die Gneise des Erzgebirges beispielsweise sind zum Teil veränderte Eruptiva, zum Teil metamorphosierte Sedimente, und die Ursache der Umwandlung ist in jedem Falle auf die starken tektonischen Störungen des Urgebirges zurückzuführen.

Bedeutungsvoll sind die reichen Erzlagerstätten, die sich in der archäischen Formationsgruppe finden. Als edle Metalle kommen Gold, Silber, Platin vor, als unedle Kupfer, Zinn, Zink, Blei, Eisen, Nickel, von Edelsteinen Diamant, Rubin, Saphir, Smaragd, Hyazinth, Granat und Quarzvarietäten.

II. Die eozoische (archäozoische) Gesteinsgruppe (Algonkium).

(Die Urzeit der Erdgeschichte.)

Über den archäischen Gesteinen folgen an manchen Teilen der Erde nun nicht gleich die Sedimente der paläozoischen Formationsgruppe, wie man früher annahm, sondern es ist zwischen beiden ein Paket von Schichten eingeschaltet, die hinsichtlich

ihrer petrographischen Beschaffenheit große Ähnlichkeit mit den umgewandelten Gesteinen des Archaikums haben, die aber daneben deutliche Trümmergesteine, wie Sandsteine und Kalke, enthalten.

Weiterhin ist ein wesentlicher Unterschied zu den archäischen Gesteinen in der Lagerung gegeben; die eozoischen Gesteine zeigen auf weite Strecken hin eine horizontale Lagerung. Schließlich ergibt sich als hauptsächliches unterscheidendes Merkmal, daß sie Versteinerungen enthalten. Zwar sind die organischen Reste in ihnen nicht allzu häufig, da sie bei der Metamorphose der Gesteine ebenfalls zerstört und unkenntlich gemacht worden sind. Die gefundenen Versteinerungen gehören nun schon den verschiedensten Stämmen des Tierreiches an, es sind Hohltiere, Stachelhäuter, Weichtiere, Armfüßler, Würmer und Gliederfüßler. Daraus geht hervor, daß das organische Leben schon lange Zeiträume vorher auf der Erde existiert haben muß, daß wir nur bisher keinerlei Spuren von noch älteren Organismen in den Gesteinsschichten entdeckt haben. Es erscheint auch höchst fraglich, daß uns die Paläontologie die letzte Auskunft über die ersten Lebewesen zu geben vermag, da diese ihrem ganzen Bau nach sicherlich nicht zur fossilen Erhaltung geeignet waren. Fossile Erhaltung setzt harte Schalen oder Skelette voraus, und diese besaßen die ältesten Lebewesen nach unseren Vorstellungen sicherlich nicht.

Über das Eozoikum, das man nach dem nordamerikanischen Indianerstamm der Algonkin auch Algonkium bezeichnet, wissen wir wenig zu sagen, obgleich es einen so großen Zeitraum umspannt, daß man ihm den Wert einer ganzen Formationsgruppe zugesprochen hat.

Besonders gut ist das Algonkium am Oberen See in Nordamerika und am Koloradokanon entwickelt. Auch im nördlichen Schottland und in Schweden hat man algonkische Schichten nachgewiesen, in Deutschland kann man wohl mit Sicherheit gewisse Phyllite des Fichtelgebirges und des östlichen Thüringens als eozoisch bezeichnen.

Soweit man aus den überkommenen Gesteinen schließen kann, wiesen die Festländer der eozoischen Formationsgruppe einen wüstenartigen Charakter auf. Da noch keine Vegetation den Boden schützte, herrschte eine außerordentlich starke Verwitterung, und gewaltige Stürme führten Sand und Kies von einer Stelle hinweg, um sie an einer anderen zu gewaltigen Dünenbergen aufzuhäufen.

III. Die paläozoische (primäre) Formationsgruppe.

(Das Altertum der Erdgeschichte.)

Die paläozoische Formationsgruppe entspricht dem Altertum der Erdgeschichte; sie gliedert sich in die fünf Formationen Kambrium, Silur, Devon, Karbon und Dyas (Perm). In ihr treten die ersten deutlich unterscheidbaren Pflanzen- und Tierreste auf, die eine zunehmende Entwicklung im Laufe des Paläozoikums deutlich erkennen lassen. Die Flora besteht fast ausschließlich aus kryptogamen Pflanzen, wie Seetangen, Schachtelhalmen, Farnen und Bärlappen. Die meisten Gräser (Monokotyledonen) und sämtliche Blütenpflanzen (Dikotyledonen) fehlen indessen

Tierleben im kambrischen Meer (aus Walther, Geschichte der Erde und des Lebens).

noch. Auch die Fauna ist noch nicht vollständig zur Stelle: Säugetiere und Vögel gibt es überhaupt nicht, Reptilien und Amphibien treten erst in den jüngeren Formationen des Paläozoikums auf, und nur die Fische bewohnen seit dem Kambrium die Meere. Indessen spielen wirbellose Tiere aller Stämme die Hauptrolle.

Das Klima des geologischen Altertums ist im allgemeinen ein warmes gewesen; die heute vorhandenen Gegensätze zwischen den einzelnen Zonen scheinen noch nicht so deutlich ausgesprochen gewesen zu sein, da sowohl im Norden wie im Süden, wie in den heutigen Tropen dieselben Tier- und Pflanzenformen gefunden worden sind, während in der jetzigen Tier- und Pflanzenwelt sehr wesentliche, klimatisch bedingte Verschiedenheiten bestehen.

Immerhin hat gegen das Ende der Formationsgruppe auf der südlichen Halbkugel eine starke Abkühlung stattgefunden, die zu einer in ganz Südamerika, Südafrika und Australien deutlich festzustellenden Eiszeit geführt hat.

A. Das Kambrium.

Die älteste Formation des Paläozoikums ist das Kambrium, nach Cambria, dem alten Namen für Wales, genannt, wo die Formation zuerst von Sedgwick in den 30er Jahren des vorigen Jahrhunderts erforscht wurde. Im Gegensatz zum Algonkium treffen wir jetzt auf zahlreiche, vortrefflich erhaltene Versteinerungen, die eine deutliche Gliederung der Formation in drei Abteilungen, in unteres, mittleres und oberes Kambrium ermöglichen.

Nach den Schichten zu urteilen, war in der kambrischen Zeit mehr als die Hälfte der Erdoberfläche trockenes Land; die dazwischen liegenden Wassermassen sprechen ihrerseits für flache Meere, so daß wir zu der Annahme genötigt sind, daß während des Kambriums die Masse des Weltmeeres geringer als heutzutage war.

Sowohl auf dem Festland wie auf dem Boden der Meere spielten sich zahlreiche vulkanische Eruptionen ab. Die dabei herausgeschleuderten Laven und Aschen lagerten sich zwischen den Sedimenten ab und bildeten zum Teil mächtige Lagen. In Südengland, Frankreich, Böhmen, in Nordamerika und Südindien lassen sich Mittelpunkte gesteigerter vulkanischer Tätigkeit erkennen.

Für das Studium der kambrischen Formation sind außer Wales noch einige andere europäische Gebiete von Wichtigkeit, so vor allem Skandinavien und die baltischen Provinzen, wo das Kambrium mit Sanden, den sog. Fucoidensandsteinen, einsetzt. In weiter Ausdehnung findet sich Kambrium auch in Böhmen, doch weicht es hier von der nordeuropäischen Ausbildung sehr stark ab. In Deutschland ist die Formation nur sehr spärlich vertreten. Einige Phyllite und Quarzite des Fichtelgebirges und des östlichen Thüringens werden als Kambrium angesehen, eindeutiger und bedeutsamer ist das Auftreten kambrischer Gesteine im Hohen Venn, dem öden Hochplateau an der Eifel.

Was nun die Lebewelt des Kambriums anbelangt, so wissen wir zunächst über die Flora nur sehr wenig. Die Fucoiden, früher als Tange gedeutet, haben sich als Schleppspuren von Medusenarmen entpuppt; wirkliche Pflanzenreste sind nicht erhalten. Und doch müssen in den Meeren niedere Pflanzenformen gelebt haben,

wenn man auch als ihre Überbleibsel einzig und allein geringe kohlige Reste ansehen darf.

Hinsichtlich der Fauna ist es günstiger bestellt, so daß wir uns ein annähernd vollkommenes Bild von der kambrischen Tierwelt machen können, soweit es sich nicht um weichhäutige Tiere handelt. Von diesen sind allerdings auch Spuren auf uns gekommen, etwa in Gestalt von Wurmgängen, die in großer Anzahl in den Sandsteinen angetroffen werden. Daß es damals wirklich schon hochentwickelte Würmer gegeben haben muß, ist durch deren winzige Hornkiefer erwiesen, die man aus den kambrischen Tonen von St. Petersburg herausgeschlämmt hat.

Nach den Voraussetzungen der Abstammungslehre müßte die kambrische Fauna die Merkmale einer Primitivfauna aufweisen, das heißt, es müßten sich in ihr möglichst viel Formen finden, die an der Wurzel der einzelnen Tierstämme stehen. Verhält es sich nun in Wirklichkeit so? Um diese Frage beantworten zu können, müssen wir die gesamte kambrische Tierwelt an uns vorüberziehen lassen (vgl. Tafel XXIV).

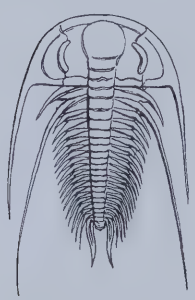


Abb. 298. Paradoxides bohemicus. Jugendform mit langen Seitenstacheln.

Von den Mollusken, die heute unsere Meere als wichtigster Tierstamm bevölkern, ist im Kambrium noch nicht viel zu bemerken. Einige wenige Muscheln treten auf und einzelne primitive Schnecken, während die ersten gewundenen Formen erst in den jüngeren Schichten des Kambriums nachweisbar sind.

Die Stelle der Mollusken nehmen dafür die Brachiopoden ein, Organismen mit Kalkschalen, die zur Verwandtschaft der Würmer gehören und die mittels eines hornigen Stiels festgewachsen sind, während sie ihre Nahrung mit zierlichen, durch die klaffenden Schalenränder hindurchgeführten „Armen" herbeistrudeln (Brachiopoden = Armfüßer). An Brachiopoden treten im Kambrium etwa 10 Arten auf; in der folgenden Silurformation schnellt ihre Artenzahl auf 2600 hinauf, um langsam im Laufe der erdgeschichtlichen Vergangenheit wieder abzunehmen. In der heutigen Tierwelt haben sie nur eine geringe Bedeutung, es ist aber biologisch höchst bemerkenswert, daß zwei Arten, Lingula und Discina, die in der kambrischen Fauna auftreten, noch heute in fast unveränderten Schalenformen vorhanden sind und somit ein Beispiel für die außerordentliche Lebenszähigkeit mancher Tierarten geben.

Auch Schwämme sind im Kambrium nachgewiesen worden, und zwar zum Teil in sehr gut erhaltenen Exemplaren. Im Gegensatz zu ihren Nachkommen liegen bei ihnen die Kieselnadeln unverbunden in der Haut, sie schließen sich also noch nicht zu einem festen Skelett zusammen.

Von dem Tierstamm der Stachelhäuter (Echinodermen) treten erst einige Vorläuferformen auf, so einige Gattungen der primitiven, bald wieder aussterbenden Klasse der Beutelstrahler (Cystoideen); auch echte Korallen fehlen noch ganz.

Am bedeutsamsten in der ganzen kambrischen Fauna sind indessen die Trilobiten, eine Gruppe von Krebstieren, die ihren Namen von der Dreiteilung ihres Körpers — und zwar einmal von vorn nach hinten, ein anderes Mal in seitlicher Richtung — erhalten haben. Das große, zumeist halbkreisförmige Kopfschild läßt

ebenfalls einen erhöhten Stirnbuckel und zwei seitliche Wangen erkennen, an denen die Facettenaugen sitzen. Der Körper besteht aus einer kleineren oder größeren Anzahl von Segmenten, die ebenfalls durch zwei Längsfurchen in eine mittelständige Spindel und in seitliche „Pleuren" zerlegt sind. Das Schwanzschild (Pygidium) ist entweder nur ein kleiner Anhang oder eine mit Hörnern verzierte Platte.

Die Unterseite der Trilobiten war weichhäutig oder wenigstens so wenig verkalkt, daß sie fossil nur selten erhalten geblieben ist. Durch Dünnschliffe und sehr vorsichtige Präparation hat man aber doch feststellen können, daß die Trilobiten über eine große Anzahl von Extremitäten — jedenfalls entsprechend der Zahl ihrer Segmente — verfügten, und daß man an jeder Extremität einen Laufast und einen Schwimmast zu unterscheiden hat, während an ihrer Basis die Kiemen gelegen waren.

Trilobitenpanzer finden sich in gewissen kambrischen Gesteinen in ungeheuerer Menge. Nicht jeder Panzer entspricht dabei einem Tier, sondern es werden eben häufig die bei der Häutung abgeworfenen Stücke sein, die im Schlamm eingebettet worden sind. So nimmt es nicht wunder, daß man über die Entwicklung mancher Trilobitenarten sehr gut unterrichtet ist und alle Stadien von dem Ei bis zum erwachsenen Tier kennt. Die Trilobiten scheinen Schlammbewohner gewesen zu sein; von den augenlosen Formen kann man wohl mit großer Sicherheit behaupten, daß sie im Schlamm wühlten und daß deshalb bei ihnen wie beim Maulwurf oder Regenwurm die Augen zurückgebildet wurden.

Schon dieser letzte Umstand, in gleicher Weise aber die Organisationshöhe zahlreicher anderer kambrischer Tierformen, erweist es, daß die kambrische Fauna sicherlich keine primitive ist. Das würde der Deszendenztheorie ins Gesicht schlagen, wenn wir nicht berücksichtigen müßten, daß die kambrische Fauna zwar die älteste überlieferte, aber sicherlich nicht die älteste Tierwelt überhaupt ist. Ihre ganze Zusammensetzung weist vielmehr mit unbedingter Sicherheit darauf hin, daß es schon Vorläufer gegeben haben muß. Die ersten bekannten Trilobiten sind wesentlich voneinander verschieden und zeigen auch stark unterschiedliche Larvenformen, so daß man schon hier von mehreren Entwicklungsgängen sprechen muß, die zu ihrer Herausbildung natürlich lange Zeiträume beansprucht haben.

Das Leben dieser Jahrmillionen liegt aber unrettbar verschüttet in den Gesteinen der vorkambrischen Zeiten. So bleibt uns nicht nur die Wurzel des Lebens verborgen; die Schichten der ältesten Gesteine haben einen großen Teil vom Stammbaum des Lebens überhaupt zugedeckt, so daß er uns erst sichtbar wird, nachdem sich schon die ersten Äste abgezweigt haben, die den Hauptstämmen des Tierreiches entsprechen.

B. Die Silurformation.

Das Silur wurde im Jahre 1835 von dem englischen Geologen Murchison als eigene Formation aufgestellt und nach dem alten Volksstamm der Silurer im südlichen England, wo es zuerst untersucht wurde, benannt.

Das Silur zeigt zwei voneinander gänzlich abweichende Ausbildungsformen, von denen die eine auf Nordeuropa, die andere auf Süd- und Mitteleuropa beschränkt

ist. Betrachten wir zunächst den Norden, so erkennen wir, daß eine typische Übergangsbildung, das sog. Tremadocian, kambrische und silurische Ablagerungen miteinander verknüpft. Darauf folgen mächtige Quarzite, Sandsteine und Schiefer mit den für das Silur so typischen Tierkolonien der Graptolithen, darauf eine rund 1000 m dicke Folge sandig-schiefriger Gesteine mit zahlreichen dazwischen eingeschalteten Eruptivgesteinen bzw. deren Tuffen und darüber wieder Schiefer und Kalke verschiedener Stufen, mit deren Namen wir uns aber nicht zu belasten brauchen.

Die genannten Schichten machen zusammen das untere Silur oder das Ordovicium in England aus. Das obere Silur ist häufig durch eine deutliche Diskordanz von dem unteren getrennt und besteht nun auch seinerseits aus den verschiedensten Schichten und Lagen von Sandsteinen, versteinerungsreichen Kalken und anderen grobkörnigen Gesteinsbildungen. Wir haben es hier mit typischen Flachmeerabsätzen zu tun, die aber allmählich, je weiter wir in England nach Norden wandern, um so mehr in die pelagische oder Hochseefazies übergehen. Während im seichten Meere sich eine bunte Welt zahlreicher Korallen, Brachiopoden und Mollusken tummelt, weist die pelagische Fazies in ihren dunkeln Schiefern fast ausschließlich Graptolithen auf, deren zahlreiche Gattungen zu einer sehr eingehenden Gliederung in etwa 40 Zonen geführt haben.

Ähnliche Verhältnisse treffen wir in den anderen Gegenden Nordeuropas an. In Skandinavien weist das untere Silur mehr kalkige Absätze auf; die Kalke (Orthoceren-, Vaginaten-, Echinosphäritenkalke) zeichnen sich durch großen Fossilreichtum aus. Das obere Silur zeigt noch größere Übereinstimmung mit der englischen Flachseefazies; hier ist als besonders fossilreich der Gotländer Kalk zu nennen. Die Graptolithenfazies der silurischen Hochsee findet sich im südlichen Schweden wieder, so daß die englischen Verhältnisse mit geringen Varianten auch hier obwalten.

Durchaus abweichend von diesen nordeuropäischen Vorkommen verhält es sich mit der südeuropäischen Ausbildung des Silurs, wie sie in typischer Form in Böhmen auftritt. Wir treffen hier nicht nur ganz abweichende Gesteine, sondern auch eine dem nordischen Meere fremde Tierwelt an, so daß man mit Barrande eine feste, beide Meere trennende Barre anzunehmen genötigt ist. Eine ähnliche Ausbildung zeigt auch das thüringisch-fränkische Silur, das wegen des Vorkommens technisch nutzbarer Gesteine eine wirtschaftliche Bedeutung erhält. Das untere Silur gliedert sich hier in eine untere, aus Tonschiefer bestehende Abteilung, in die abbauwürdige Eisenoolithe (sog. Thuringit oder Chamoisit) eingelagert sind, und eine obere, aus Griffelschiefer bestehende Abteilung, die an der Bahnstrecke bei Probstzella aufgeschlossen ist und zur Anlage zahlloser Schieferbrüche Veranlassung gegeben hat. Das Obersilur besteht aus zwei Graptolithenschieferpaketen, in denen man eine weitgehende Übereinstimmung mit den englischen Graptolithenschichten nachgewiesen hat, und dazwischen geschaltet aus dem hellfarbenen eisenhaltigen Ockerkalk (Abb. 299).

Weitere deutsche Vorkommen von Silur finden sich im Harz, im Rheinischen Schiefergebirge, in Sachsen und Schlesien, doch treten sie sämtlich nur in geringem Maße hervor. Wo sich in Europa noch Silur findet, wie in den Karawanken, in Bulgarien, Sardinien, Spanien (wo in der Sierra Nevada Silber, Blei und Quecksilber vorkommen), aber auch in der Bretagne und Normandie, ist es stets in der

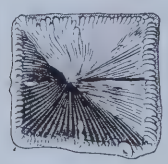
Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 299. Schwarzburg, vom Trippstein gesehen.
Die Berge des Schwarzatals setzen sich aus paläozoischen Schiefern zusammen.

böhmischen Ausbildung entwickelt, und nur das Silur des russischen Dnjestrgebietes, des Pas de Calais und Belgiens schließt sich an die englische Fazies an. Dasselbe gilt auch für die mächtigen Ablagerungen in Nordamerika, wo zum Beispiel der bekannte Niagarakalk, über den der große Fall hinwegbraust, ein vollständiges Äquivalent zum Gotländer Kalk oder zum englischen Wenlockkalk darstellt. Indem wir die anderen Kontinente nur streifen, sei noch auf große silurische Ablagerungen in Sibirien und China, in Australien (hier goldführend) und in Argentinien hingewiesen. Es geht hieraus hervor, daß sich zur Silurzeit jedenfalls ein Weltmeer von Europa nach Amerika ausgedehnt hat, während sich auf der südlichen Hemisphäre ein gewaltiger, von Südamerika über Afrika und Indien bis nach Australien reichender Kontinent erstreckte.

Was nun den Fossilinhalt der Silurformation anbelangt, so können wir ein mächtiges Aufblühen des tierischen Lebens feststellen. Im Silurmeer Böhmens lebten allein 53 Arten von Trilobiten, von denen nur 2 Gattungen schon im kambrischen Ozean beheimatet waren. In den Kalken der Obersilurzeit Böhmens ist das Tierleben noch reicher: Barrande, der klassische Erforscher des böhmischen Paläozoikums, hat über 600 Arten der Kopffüßergattungen Orthoceras und Cyrtoceras, 81 Trilobiten-, 767 Muschel- und 293 Brachiopoden-Arten beschrieben. Eine Erklärung für diese Formenfülle zu finden, ist recht schwierig; zahlreiche kambrische Arten sind im Silur schon ausgestorben; nur 7 schlammwühlende Trilobitenarten finden wir in den silurischen Gewässern wieder. Da auch viele andere kambrische Formen von der Bildfläche verschwunden sind, muß man für die plötzlich einsetzende Übervölkerung eine Einwanderung in Meeresbecken annehmen, die für eine schnelle Entwicklung und Vermehrung besonders günstige Bedingungen aufwiesen.

Wenn wir die Tierwelt des Silurs an uns vorüberziehen lassen, so können wir die Foraminiferen und Radiolarien, jene Einzeller mit den kunstvollen und formenschönen Kalk- und Kieselschalen, schnell übergehen, da sie keine besonders große Bedeutung haben. Wichtiger sind die Kieselschwämme, deren 4- und 6strahlige Nadeln sich jetzt schon zu gesetzmäßigen Nadelsystemen zusammenschließen. Auch die ersten Korallen treten auf den Plan, und die Klasse der Brachiopoden



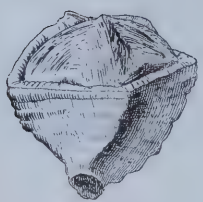


Abb. 300. Goniophyllum pyramidale, eine Einzelkoralle, deren Kelch durch einen Deckel verschlossen wurde.

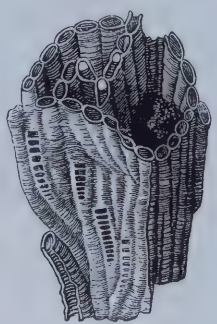
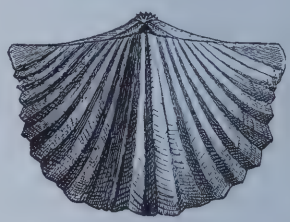


Abb. 301.



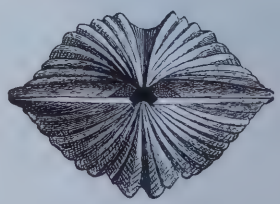


Abb. 302.

Abb. 301. Halysites catenularia, die Kettenkoralle.
Abb. 302. Orthis lynx, ein verbreiteter Armfüßer.

Abb. 300—302. Silurische Leitfossilien.

nimmt eine überraschende Entwicklung. Zwar ist die Zahl der Gattungen (50) nicht sehr hoch, doch tritt eine außerordentliche Formenumbildung und -entwicklung ein, so daß diese Gattungen nicht weniger als 2600 verschiedene Arten bilden. Das Silur stellt aber auch den Höhepunkt im Leben dieser Tierklasse dar, die in dem weiteren Verlauf der Erdgeschichte — so viel Arten sie auch noch aufweisen mag — ständig an Zahl der Gattungen verliert.

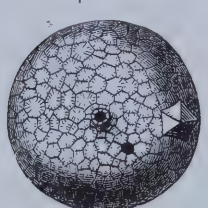


Abb. 303. Die Cystoidee Echinosphaerites aurantium. Der After ist durch 5 dreieckige Plättchen geschützt.

Die Stachelhäuter sind vollzählig vertreten. Von ihnen ist die Klasse der Cystoideen oder Beutelstrahler besonders interessant; diese Tiere besitzen einen kugeligen oder beutelförmigen Panzer, der aus zahlreichen Kalkplättchen in zumeist regelloser Anordnung zusammengesetzt ist. Mundöffnung, After und Geschlechtspore sind darauf deutlich erkennbar. Die Cystoideen sind stammesgeschichtlich besonders interessant, da sie an der Wurzel der Stachelhäuter stehen und da von ihnen Übergänge zu den Klassen der Seelilien, der Seesterne und Seeigel hinleiten. Den Beutelstrahlern ist nur ein kurzes Dasein beschieden gewesen: aus dem Kambrium kennen wir die ersten Vertreter, und in der Steinkohlenformation starben bereits die letzten aus.

Während Seelilien in großer Fülle auftreten, spielen die Seesterne und Seeigel im ganzen Altertum der Erdgeschichte noch keine große Rolle. Das gleiche gilt

für die Muscheln und Schnecken des Silurs, während die Kopffüßler oder Cephalopoden in riesigen Mengen durch die silurischen Ozeane geschwärmt sein müssen. Sie besitzen wie die Schnecken eine feste Schale, sie unterscheiden sich aber von diesen dadurch, daß sie nicht das ganze Gehäuse, sondern immer nur den letzten Teil, die sog. Wohnkammer, mit ihrem Körper einnehmen. Die gesamte Schale besteht aus einer größeren Reihe einzelner Kammern, die durch uhrglasförmige Scheidewände (Septen), getrennt sind. Jedes Septum weist ein Loch auf, durch welches ein Gewebestrang, der sog. Sipho, hindurchgeht, der schließlich in der kleinsten ersten, der sog. Embryonalkammer, endigt.

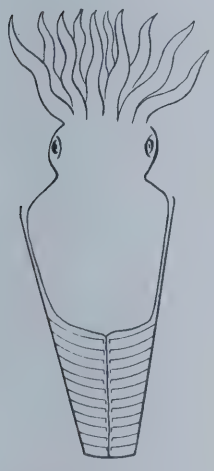


Abb. 304. Die Lage eines Kopffüßlers (Orthoceras) in der Schale.

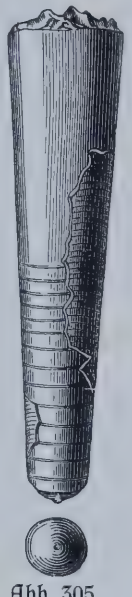


Abb. 305.

Abb. 306. Eine Kolonie von Graptolithen.

Abb. 305. Orthoceras timidum aus dem böhmischen Silur, ein gerade gestreckter Kopffüßler. Unten ein Septum von hinten mit Siphonalloch.

Die silurischen Cephalopoden weisen in der großen Mehrheit eine gerade gestreckte Schale auf; indessen beginnt schon eine neue Reihe von Formen, bei denen eine immer mehr zunehmende Einrollung der Schale in einer Ebene zu bemerken ist. Die ältesten scheibenförmig aufgerollten Gattungen sind Lituites, Ophidioceras, Nautilus; bei ihnen sind die Suturen, d. h. die Nähte, welche die Septen mit der Schale bilden, wellige Oberflächen, im Gegensatz zu den geraden Orthoceras-Formen, bei denen sie sich als regelmäßige Kreise darstellen (Abb. 305).

Auch für die Trilobiten stellt das Untersilur die Blütezeit dar: 860 verschieden aussehende und unter verschiedenartigen Bedingungen lebende Arten hat man wissenschaftlich beschrieben. Einige weisen nur 2 Rumpfsegmente auf, während bei anderen die Segmentzahl bis auf 29 steigt, einige haben verkümmerte, andere sehr komplizierte Augen mit über 1000 Fazetten. Manche Trilobiten besitzen einen glatten Körper, andere sind durch seitliche Anhänge und Stacheln ausgezeichnet, die allerdings keine Waffen, sondern jedenfalls Schwebevorrichtungen darstellten, wie sie auch heute die kleinen Krebse des Planktons zeigen.

Eine gewisse Bedeutung hatten in den Silurmeeren auch die kalkabscheidenden Organismen, so die Kalkalgen und vor allem die Korallen. Von ihnen sind zunächst die sog. Tabulaten zu nennen, Kolonien, die lange, durch „Böden" getrennte Ketten bildeten; ein wichtiges Leitfossil ist Halysites catenularia. Im übrigen finden sich zumeist Einzelkorallen, die allerdings in großen Scharen beieinander angesiedelt waren. Auch zahlreiche Seelilien, Muscheln, Brachiopoden besiedelten die urweltlichen Korallenriffe und schufen ein ebenso belebtes buntes Bild, wie es die heutigen Korallenriffe zeigen (Abb. 300—306).

Ganz im Gegensatz hierzu stehen jene Gebiete, in denen sich am Meeresboden schwarze, faulstoffreiche, dünnplattige Schiefer absetzten, auf deren Schichtflächen sich in riesigen Mengen die Abdrücke zierlicher Lebewesen, der sog. Graptolithen, finden. Meistens sind die Reste verdrückt und wenig deutlich, doch hat man auch so vortrefflich erhaltene Skelette aus den Schichten herauslösen können, daß man über den Bau der Tiere gut unterrichtet ist. Wir können in diesem Zusammenhang auf die seltsame Tiergruppe nicht näher eingehen; es soll der Hinweis genügen, daß die Graptolithen als zierliche Kolonien als dichte Rasen den Schlamm des Bodens, aber auch die Gesteine und die Algen besiedelten, etwa in der Art der heute lebenden Hydroidpolypen, die jeden Gegenstand im Meer bekleiden. Die faulenden Kolonien bildeten Schwefelwasserstoff, so daß in den Buchten, wo die Graptolithen zusammengespült und abgesetzt wurden, anderes Tierleben sich nur kümmerlich entwickeln konnte.

Die Graptolithen, welche, wie die Abb. 306 veranschaulicht, die verschiedenartigsten Formen aufweisen, bilden nun ganz hervorragende Leitfossilien, da sie weltweit verbreitet, dabei aber nur auf ganz bestimmte Schichten beschränkt sind. Schiefer mit leitenden Graptolithen finden sich von Westeuropa bis nach Sibirien, von Birma bis nach Neuseeland, von Kanada bis nach Argentinien.

Auf einige andere seltsame Vertreter der silurischen Tierwelt muß wenigstens kurz noch hingewiesen werden: so auf die Riesenkrebse, die bis 1 m Länge erreichten und deren Larven deutliche Anklänge an die Trilobiten zeigen, während die erwachsenen Tiere einen besonderen, bald wieder aussterbenden Typus der Krebstiere darstellen. Neben ihnen sind besonders interessant einige Skorpione, welche beweisen, daß gegen das Ende der Silurformation einzelne Tiere bereits den entscheidenden Schritt vom Meere auf das feste Land gewagt haben. Indessen sind die Reste von Landbewohnern, wie Insekten, sehr kümmerlich, und man muß wohl annehmen, daß die kühnen Pioniere nicht gleich das Festland selbst, sondern erst einmal die Strandzone eroberten, zumal auch die spärlichen Kohlenlagen, die man als Reste der damaligen Flora ansehen muß, zwischen Meeresablagerungen eingeschaltet sind, so daß sie jedenfalls aus noch halb im Wasser lebenden Strandpflanzen entstanden sein werden.

Es leuchtet ohne weiteres ein, daß der Übergang aus dem feuchten auf das trockene Element nur sehr allmählich vor sich gegangen sein kann. Das Luftleben der Pflanzen und Tiere setzt ganz andere Anpassungen voraus als das Leben im Wasser. Die Aufnahme des für die Assimilation notwendigen Kohlendioxyds geht bei den Wasserpflanzen aus dem Wasser vor sich, bei den Landpflanzen aus der Luft.

Die letzteren brauchen feste Stützorgane, um ihren Körper im Luftmeer aufrecht zu erhalten, sie benötigen die Ausbildung von Blättern und Wurzeln, um die gasförmige Nahrung der Luft und die flüssige dem Boden entnehmen zu können, während die Wasserpflanzen durch das Wasser selbst schwebend gehalten werden und aus ihm ihre Nahrung schöpfen können. Da im biologischen Abschnitt die Unterschiede zwischen Land- und Wasserbewohnern genauer behandelt werden, möge dieser Hinweis für die Pflanzen ebenso genügen, wie ein kurzer Blick auf die unterschiedlichen Merkmale von Wasser- und Landtieren. Auch diese unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich ihrer Körperform, besonders hinsichtlich der Ausbildung von Extremitäten, sondern auch hinsichtlich der Atmungsorgane grundsätzlich von den Wassertieren, indem an Stelle der den Sauerstoff aus dem Wasser entnehmenden Kiemen Tracheen und Lungen mit ihren spezifischen Zuführungswegen treten.

Lange Zeiträume muß dieser Eroberungszug beansprucht haben, und unzählige Generationen werden darüber zugrunde gegangen sein, bis sich die notwendigen Anpassungen herausbilden konnten. Die Frage, warum die Pflanzen- und Tierwelt allmählich aufs Land ging, ist naturgemäß ebenfalls schwer zu beantworten. Eine hauptsächliche Veranlassung mag die starke Verlandung des Meeres gegen das Ende der Silurformation gewesen sein; das allmählich immer seichter werdende Meer nötigte die Organismen, sich den neuen Verhältnissen mehr und mehr anzupassen und zwang einige von ihnen sogar dazu, als die Landbildung weitere Fortschritte machte, den Versuch zu wagen, sich auf dem festen Lande neue Lebensgebiete zu erschließen.

C. Die Devonformation.

Wie die beiden vorhergehenden Formationen, so wurde auch das Devon zuerst in England — und zwar von Murchison und Sedgwick — untersucht; der Name wurde der Grafschaft Devonshire entlehnt. Doch findet sich in diesem Gebiet nur die eine Fazies der Formation, während die gegensätzlich entstandene besonders in Deutschland vortrefflich entwickelt ist.

Der Nordkontinent, der sich schon zur Silurzeit allmählich herausgebildet hatte, hatte sich nämlich inzwischen weiter nach Süden verlagert und gewaltige Meeresgebiete in festes Land umgewandelt, was mit großen gebirgsbildenden Prozessen zusammenhing. Natürlich ging die Verlandung ganz allmählich vor sich, und so konnten sich die Lebewesen an die veränderten Bedingungen anpassen, konnten allmählich das Festland für sich gewinnen. Die Ablagerungen dieses Nordkontinents sind rote Sandsteine, die von den englischen Geologen als Old red sandstone, kurz als Old red (alter roter Sandstein) bezeichnet wurden und die sich in gleicher Ausbildung in Nordafrika (Nubischer Sandstein), in Südafrika und Südamerika wiederfinden, so daß dem nördlichen ein südlicher Kontinent gegenüberzustellen ist.

Der Quarz, der diese gewaltigen Sandsteinmassen gebildet hat, stammt aus den alten granitischen Urgebirgskernen des skandinavischen bzw. des kanadischen Schildes, die inzwischen abgetragen worden waren, der Old red setzt sich aus dickbankigen rotbraunen Schichten zusammen, die mitunter durch Geröllbänke und Mergellagen unterbrochen werden, und erreicht in Schottland eine Mächtigkeit von 5000 m.

Nach den petrographischen Merkmalen müssen wir den Old red als eine typische heiße Wüstenlandschaft ansprechen, und das bestätigt uns auch die aufgefundene Pflanzen- und Tierwelt. An den Ufern von Seen wuchsen schilfartige Gewächse, Schachtelhalme und Farne; auch echte Wüstenpflanzen mit Anpassungen an starke Sonnenbestrahlung sind nachgewiesen worden. Die Tierwelt ist recht spärlich auf dem Festland entwickelt. Einige Süßwassermuscheln und Landschnecken treten auf, Riesenkrebse sind nicht selten, und auch Insekten mögen in reichlicher Menge die heiße Luft durchschwirrt haben. Besonders bemerkenswert sind aber die seltsamen Fischformen. Neben den ältesten Schmelzschuppern (Ganoiden: Acanthodes und Cheirolepis) sind es vor allem die Lungenfische oder Dipnoer, von denen eine Gattung, der Ceratodus, sich bis in die Gegenwart hat halten können. Im Jahre 1870 wurde Ceratodus, den man für längst ausgestorben hielt, in einigen der häufig austrocknenden Flüsse Ostaustraliens entdeckt. Es ist ein Tier von großer biologischer und entwicklungsgeschichtlicher Bedeutung insofern, als er neben seiner Kiemenatmung noch als Anpassung an das zeitweilige Landleben typische Lungen aufweist. Seine scharf gerippten Hornzähne hat man in devonischen Ablagerungen in großer Menge gefunden, und so stehen wir hier vor einem für die Entwicklung des Lebens bedeutsamen Abschnitt: das Wirbeltier erobert sich das Festland. Die Anpassung an die Luftatmung ging nicht von Meeres-, sondern von Süßwasserfischen aus; die ursprünglich auf das Meer beschränkten Fische drangen zunächst in das Brackwasser, dann in die Flüsse und Bäche ein und mußten sich bei den obwaltenden ungünstigen Verhältnissen an Wassermangel und zeitweilige völlige Austrocknung erst allmählich gewöhnen, um dann den entscheidenden Schritt zur Luftatmung tun zu können. Außer dem Ceratodus fesseln uns noch die bizarr geformten Panzerfische, deren Kopf und Vorderleib durch große Platten geschützt sind und die zwei seitliche Flossenstacheln aufweisen, deren Bedeutung noch nicht eindeutig bestimmt ist. Die gepanzerten Fische gingen weit in die Flüsse des Wüstenlandes vor und sammelten sich in den Seebecken oft in großer Menge an, denn es finden sich in manchen dünnen Schichten bisweilen hunderte von Skeletten der Gattungen Coccosteus und Asterolepis.

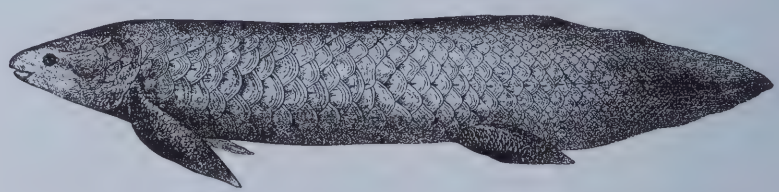


Abb. 307. Der Lungenfisch Ceratodus Forsteri, lebend in den Flüssen Ostaustraliens ($^1/_{10}$).

Wie sah es inzwischen im devonischen Ozean aus, der an die Küsten des roten Nordlandes anbrandete? Die marine Ausbildung des Devons tritt uns besonders deutlich im Rheinischen Schiefergebirge entgegen, das aus mehreren tausend Meter mächtigen, stark gefalteten Schichten besteht. Das untere Devon setzt sich aus einer 3000 m dicken Sandsteinfolge zusammen, die bis zum Hunsrück und Taunus reicht. Ihr petrographisches Gepräge wie auch ihr Fossilinhalt — wir treffen hauptsächlich

Brachiopoden und Muscheln an — sprechen für ein seichtes Meer, das das aus silurischen Schichten aufgebaute Festland überflutete. Im Hangenden liegen der helle Taunusquarzit und der dunkle Hunsrückschiefer, deren Fauna auf ein tiefes Meer hinweist. Die Fossilien, namentlich die Seesterne und Haarsterne (Crinoideen), sind in den feinkörnigen Schiefern prachtvoll versteinert und lassen alle Einzelheiten ihres Baues erkennen. Die nächsten, ebenfalls noch dem unteren Devon angehörenden Schichten werden nach ihren sehr häufigen Leitfossilien Spiriferensandsteine genannt; sie entsprechen wiederum einem flacheren Meer, während gleichalterige kalkige Schichten im Harz (das sog. Hercyn) ein dort wogendes tieferes Meer bekunden.

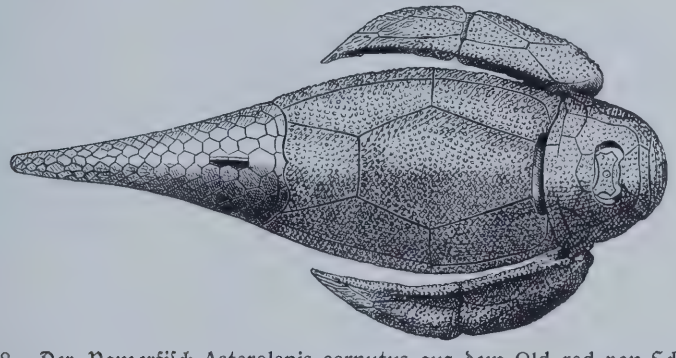


Abb. 308. Der Panzerfisch Asterolepis cornutus aus dem Old red von Schottland.

Das mittlere Devon ist besonders gut in der Eifel entwickelt. Seine untere Hälfte ist als mergeliger Kalk ausgebildet und heißt nach seinem Leitfossil, der pantoffelförmigen Einzelkoralle Calceola sandalina, Calceola-Schichten. Ihnen sind die hartbankigen Stringocephalus-Kalke aufgelagert, in deren Schichten sich unzählige große Muscheln, vor allem die Gattungen Stringocephalus Burtini, Mucites gryphus und Megalodus cucullatus, finden. Aber das Meer muß ein sehr wechselndes Aussehen gehabt haben, denn im südlichen Westfalen finden wir Sande der Flachsee, im oberen Lahngebiet dagegen Schiefer mit typischen Tiefseetieren. An manchen Stellen machte sich auch eine sehr starke eruptive Tätigkeit geltend; Diabase und deren Tuffe werden besonders im Flußgebiet der Lahn und Dill angetroffen.

Noch stärker werden die Faziesunterschiede im oberen Devon, in dem in gleichen Horizonten an dicht benachbarten Stellen Flachseesand, Korallenkalke, Tiefseeschiefer und Eruptivgesteine auftreten. Nach den leitenden Fossilien gliedert man das Oberdevon in die unteren Intumescens- (nach Manticoceras intumescens genannt) und die oberen Clymenien-Schichten (mit Clymenia). Die Korallenbauten erscheinen als mächtige Klötze im Iberger Kalk, so genannt nach dem Iberg bei Bad Grund im Harz. Überhaupt sind besonders im Oberharz die oberdevonischen Schichten, wenn auch in geringer Abweichung zu der rheinischen Fazies, gut entwickelt, vom unteren Glied der Formation dagegen finden sich dort nur die obersten Lagen (sog. Kahleberg-Sandstein), während die unteren im Unterharz an einigen Stellen zutage treten, im ostthüringischen Gebiet indessen völlig fehlen.

Das Devon Mittelböhmens, Frankreichs, Südenglands und Rußlands ähnelt dem rheinischen Devon, und devonische Schichten finden sich in großer horizontaler und vertikaler Erstreckung auch in allen außereuropäischen Kontinenten.

Aus ihrer Verbreitung lassen sich einige große Meeresbecken erschließen, und zwar eines in Eurasien, das von Europa über Zentral- und Nordasien, bisweilen sogar bis Nordamerika reichte, ein zweites, das im Gebiet der Vereinigten Staaten lag und durch Landmassen vom ersten getrennt war, und schließlich eines, das Süd-

Abb. 309. Pleurodictyum. Abdruck eines kleinen Korallenstockes, der zusammen mit einem Wurm lebte. Unterdevonischer Sandstein.

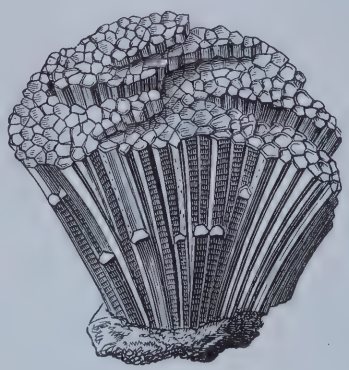


Abb. 310. Favosites, eine Bodenkoralle aus devonischen Riffen.

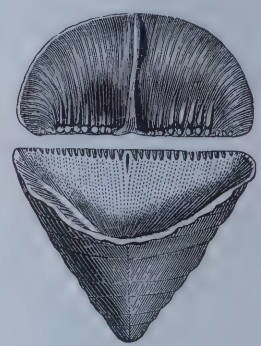


Abb. 311. Calceola sandalina, eine pantoffelförmige Einzelkoralle mit Deckel. Mitteldevon der Eifel.

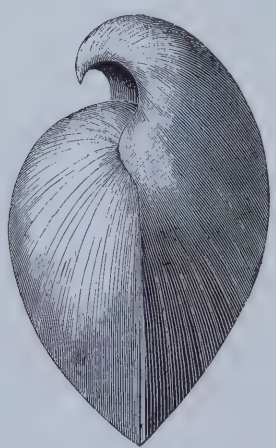


Abb. 312. Stringocephalus Burtini, eine Muschel aus den mitteldevonischen Riffen der Eifel.

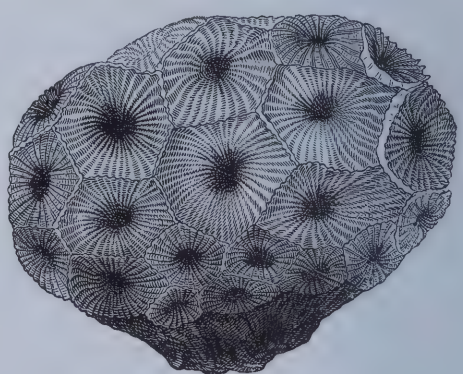


Abb. 313. Cyathophyllum hexagonum, eine stockbildende Koralle aus dem mitteldevonischen Riffkalk der Eifel.

amerika, Südafrika und die Antarktis in sich begriff. Von diesen ist das erste besonders bemerkenswert, weil es als breiter — in Europa von Südengland bis zur Sahara reichender — Gürtel die Erde umzog, und zwar in noch weit größerer Ausdehnung als das Weltmeer der Silurzeit. Die großen, während des Silurs nördlich und südlich ausgedehnten Kontinente wurden im Laufe der mittleren Devonzeit überschwemmt; diese Transgression, welche sich dadurch dokumentiert, daß auf silurische Schichten solche des mittleren Devons abgelagert wurden, während die unterdevonischen fehlen, ist eine der ausgedehntesten in der Geschichte unserer Erde.

Einige orientierende Bemerkungen über die Tierwelt des devonischen Meeres mögen noch angeführt werden. Im ganzen genommen, fällt trotz des Reichtums an Individuen doch das Fehlen grundsätzlich neuer Typen auf, vielmehr schließt sich die Fauna des Devons eng an diejenige des Silurs an, wenn auch einige Formenkreise inzwischen ausgestorben sind, wie die Graptolithen und Cystoideen. Andere sind bereits auf dem absterbenden Ast angelangt, so die Trilobiten und die Nautilus-Arten. Im Aufblühen dagegen befinden sich die Crinoideen und die zierlichen Knospenstrahler (Blastoideen), die ebenfalls zu den Stachelhäutern gehören. An die Stelle des gerade gestreckten Kopffüßler treten die scheibenförmigen Ammoniten, und zu reicher Mannigfaltigkeit entwickeln sich die Korallen und ihre biologischen Genossen. Stockbildende Korallen, so Favosites und Cyathophyllum, bauen große Riffe auf, die als ungeschichtete, häufig in Dolomit umgewandelte Klötze sich aus dem Landschaftsbild — in der Eifel und am Iberg bei Bad Grund — erheben. Wie in den Riffen der Jetztzeit nistet sich in den Klüften und Höhlen der Korallenkalke eine reiche Tierwelt an, die zum Teil in prächtiger Erhaltung auf uns gekommen ist, und zwar in solcher Menge, daß man an manchen Stellen die Versteinerungen nur vom Boden aufzulesen braucht (Abb. 309—313).

D. Die Steinkohlenformation.

Die deutliche Gliederung in eine marine und eine festländische Fazies, wie wir sie beim Devon kennengelernt haben, läßt sich auch für die darauf folgende Steinkohlen- oder Karbonformation feststellen. Da das Karbon in eine ältere und eine jüngere Abteilung zerfällt, erhalten wir eine Gliederung nach folgendem Schema:

	Marine Fazies		Kontinentale Fazies
Oberkarbon	Jüngerer Kohlenkalk		Oberes produktives Karbon
Unterkarbon	Älterer Kohlenkalk	Kulm	Unteres produktives Karbon

Der Kohlen- oder Bergkalk ist eine typische Meeresbildung mit zahlreichen Versteinerungen; ihm stehen gegenüber die Seichtwasserbildung des Kulm und die in Sümpfen auf dem Lande entstandene produktive Kohlenformation. Während in England und Schottland sämtliche Glieder der karbonischen Formation auftreten, finden sich im Saargebiet und in Böhmen nur Landbildungen und herrschen im zentralen Rußland die marinen Kalkschichten vor.

Besonders wichtig sind die ausgedehnten Krustenbewegungen, welche die Erdoberfläche zur Steinkohlenzeit betroffen haben. Gegen Ende der Kulmzeit machten sich tektonische Vorgänge bemerkbar, die bis weit in die Permformation hineinreichten und dem Antlitz der Erde wesentlich neue Züge aufprägten. In Europa wurde ein gewaltiges Faltengebirge emporgetürmt, das man als die karbonischen oder paläozoischen Alpen bezeichnet hat, das aber die heutigen Alpen an Ausdehnung weit übertraf. Sein westlicher Flügel dehnte sich vom französischen

Zentralplateau in der Richtung nach Norden und Nordwesten über die Bretagne und Normandie nach Südengland und Irland aus und wurde von Sueß als armorikanisches Gebirge (Armorica ist der alte Name für die Bretagne) bezeichnet; der östliche Flügel, das variſtiſche (variskiſche) Gebirge (nach den Variskern oder Variſtern, einem alten Volksſtamm am Fichtelgebirge benannt) erſtreckte ſich vom Zentralplateau über Vogeſen, Schwarzwald, Thüringer Wald und Harz zum Fichtelgebirge und nach den Sudeten. Gewaltige Eruptionen begleiteten die tektoniſchen Vorgänge und bildeten ungeheure Maſſen von vulkaniſchen Geſteinen, vor allem von Graniten, Porphyren und Porphyriten. Die Eruptivgeſteine, welche die Kerne unſerer Mittelgebirge bilden, entſtanden während des Oberkarbons, ſie ſind die übriggebliebenen Rümpfe des großen Hochgebirges der Steinkohlenperiode.

Auch das zentrale Mittelmeer, die ſog. Tethys, finden wir wieder, und zwar als Scheide zwiſchen einem rieſenhaften, Europa, Nordaſien und Nordamerika umfaſſenden Nordkontinent und einem Afrika, Indien und Auſtralien überbrückenden ſüdlichen Feſtland. Allerdings müſſen wir ein allmähliches Zurückweichen des Meeres aus Europa und Nordamerika feſtſtellen, denn ſonſt wären die feſtländiſchen Ablagerungen in England, Frankreich, Belgien und Deutſchland, wie auch in Nordamerika nicht möglich. Es müſſen aber mit dieſen Rückſchritten Vorſtöße des Meeres an anderen Stellen Hand in Hand gegangen ſein. Und was wir ſchon für die Devonformation feſtſtellten, gilt in erhöhtem Maße für das Karbon: die heute vorhandenen Klimazonen können nicht ausgebildet geweſen ſein, denn ſowohl die Lebewelt des Meeres wie vor allem die Flora der Steinkohlenſchichten zeigt in allen Teilen der Erde — von Spitzbergen bis zum Sambeſi, von Europa bis Oſtaſien — ein ganz übereinſtimmendes Gepräge. Die gleichen Formen, welche in der äquatorialen Zone wucherten, fanden anſcheinend auch im nördlichen Polarkreis günſtigſte Daſeinsbedingungen.

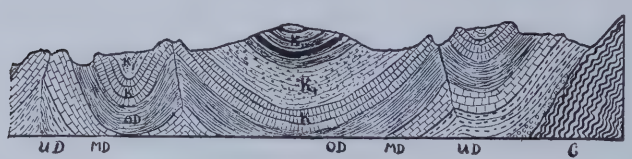


Abb. 314. Die Schichtenfalten des Devon und Karbon in der Eifel. C Kambrium, U D unteres Devon (Koblenzer Schichten), MD oberes Devon, K Kohlenkalk, K_1 Kulmſchichten, K_2 produktive Steinkohle (n. Dacqué).

Bei der großen wirtſchaftlichen Bedeutung, welche die Steinkohlenlager für die Gegenwart haben, erſcheint es angezeigt, die wichtigſten karboniſchen Vorkommen mit Berückſichtigung Europas kurz zu betrachten.

In England, Wales, Irland und Schottland beſteht das untere Karbon aus foſſilreichem Kohlenkalk, das obere aus flözführenden, bis 2500 m mächtigen Sanden und Schiefern, die mit flözleeren Geſteinen abwechſeln. Einige Schichten mit Meeresmuſcheln beweiſen zeitweilige Übertritte des Meeres in der erſten Zeit des Oberkarbons.

Die nächſte karboniſche Provinz bilden Nordfrankreich, Belgien und Rheinland. Das untere Karbon wird links des Rheins ebenfalls wieder von dem Kohlenkalk gebildet, der bis Düſſeldorf (ſog. Ratinger Bergkalk) reicht, dann

aber von ebenfalls versteinerungsreichen kulmischen Schiefern und Grauwacken abgelöst wird.

Schiefertone setzen auch in Belgien das unterste Glied des oberen Karbons zusammen, dann folgt der 2000 m mächtige Schichtenkomplex mit seinen Flözen von Mager-, Fett- und Gaskohle, der sich über Aachen ins Ruhrgebiet fortsetzt. Bei Dortmund, Bochum, Essen wird aus den in der Gesamtheit 3000 m mächtigen, 70 Flöze enthaltenden Schichten jährlich 1 Milliarde Tonnen Steinkohle gefördert. Auch hier treten Horizonte mit Meeresablagerungen auf, die dagegen in dem Saarbecken völlig fehlen. Im Saargebiet haben wir nicht weniger als 500 Flöze mit insgesamt 130 m Kohle.

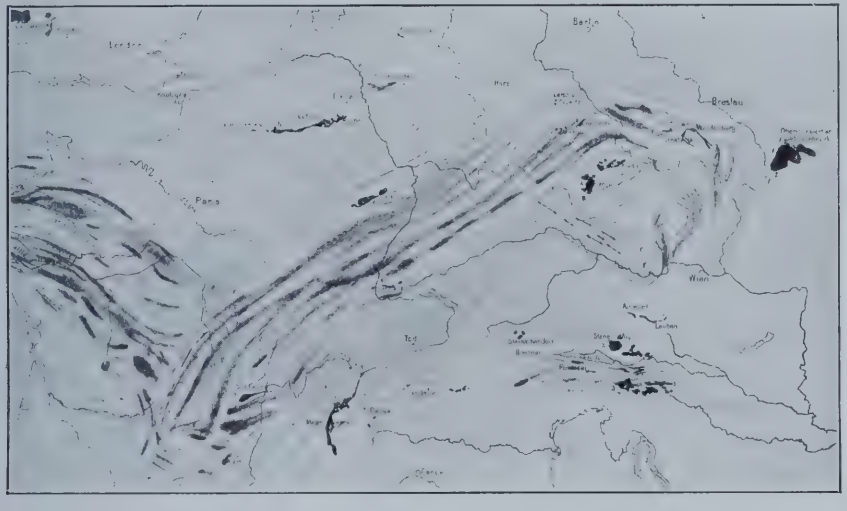


Abb. 315. Die Faltenzüge der karbonischen Alpen; daneben (schwarz) die wichtigsten Kohlenfelder Europas.

Kulmgesteine treten auch im Harz, in Ostthüringen und im Fichtelgebirge auf; kohlenführendes Karbon hat bei Zwickau und Chemnitz Bergbau ins Leben gerufen, doch sind diese Vorkommen wenig bedeutend gegenüber denen in Schlesien. Hier stellt neben dem niederschlesischen (Waldenburger) Revier das oberschlesische wegen seiner Ausdehnung und der Mächtigkeit seiner Flöze ein noch für lange Zeit ausreichendes Reservoir dar. Die in Süddeutschland (Vogesen, Schwarzwald) auftretenden karbonischen Schichten haben nur eine geringe Bedeutung, desgleichen diejenigen von Frankreich (mit Ausnahme des Nordens) und von Böhmen.

Gehen wir noch weiter südlich, so treffen wir im Oberkarbon auf marine Schichten, die besonders gut auch in Rußland entwickelt sind, wo abbauwürdige Kohlen im unteren Karbon (Mittelrußland) und wechsellagernd mit einigen tausend Meter mächtigen marinen Schichten im Oberkarbon (Donetzbecken) auftreten.

Was die außereuropäischen Erdteile anbelangt, so ist unteres Karbon in Asien weit verbreitet; es enthält bei Schantung in China große Kohlenlager; das Oberkarbon ist entweder als Kalk (sog. Fusulinenkalk) oder als Steinkohlengebirge entwickelt und ist in allen Gebieten des Kontinents zu treffen.

In Nordamerika ähnelt im Osten das Karbon den deutschen Vorkommen. Auf kalkig-sandigem Unterkarbon ist hier eine sehr kohlenreiche Schichtenfolge aufgelagert. Je weiter wir aber nach Westen kommen, um so mehr treten marine Zwischenlagen auf, und in den Weststaaten Kansas, Nebraska, Utah, Nevada stellt sich das Oberkarbon lediglich als eine mächtige Meeresablagerung dar.

Die Karbonablagerungen Südamerikas und Afrikas sind für uns von geringerem Interesse.

Der Fossilinhalt der Steinkohlenformation ist dadurch ausgezeichnet, daß sich nun zum ersten Male Landpflanzen finden, die gleich in ungeheueren Mengen auftreten und auf deren Verkohlung ja die Bildung der Steinkohlen zurückgeht. Da in einem besonderen Abschnitt (Band II, Entwicklung der Pflanzenwelt) auf die Zusammensetzung der karbonischen Flora ausführlich eingegangen werden wird, so genügt hier der Hinweis, daß es sich lediglich um niedere, sog. kryptogamische Pflanzen handelt, die, zu riesigen Ausmaßen gegenüber ihren heute lebenden Nachkommen emporwachsend, ganze Urwälder gebildet haben. Die Hauptgruppen der Flora waren zunächst die Cycadofiliceen, die ein farnähnliches Aussehen hatten und deren Wedel man in den Schiefern der Karbonformation sehr häufig als Abdrücke antrifft. Wichtige Leitformen sind Sphenopteris, Cardiopteris, Pecopteris, Odontopteris, Neuropteris und andere. Ferner sind wichtig die Calamarien oder Schachtelhalme mit den Gattungen Calamites, Asterocalamites, Sphenophyllum, Annularia, und die Lepidophyten oder Schuppenbäume mit den Hauptgattungen Lepidodendron (Schuppenbaum) und Sigillaria (Siegelbaum). Die Stammwurzeln (Rhizome) der Lepidophyten werden als Stigmarien bezeichnet. Neben diesen Gefäßkryptogamen spielen die Gymnospermen nur eine untergeordnete Rolle, wenn sie auch für die Entwicklungsgeschichte der Pflanzenwelt eine entscheidende Bedeutung haben.

Die Tierwelt des Meeres ist durch das Auftreten einiger neuer Typen und durch das Aussterben wichtiger devonischer Formen gekennzeichnet. Besonders auffallend ist das Erscheinen ungeheurer Mengen von Foraminiferen, jener kleinen, kalkschaligen Einzeller, die bisher keinerlei Bedeutung gehabt hatten. Namentlich ist es die getreidekornähnliche Gattung Fusulina, die in zahlreichen Arten manche Kalke der Ostalpen, Rußlands, Chinas und Nordamerikas zusammensetzt. Aus ihr entwickelt sich dann die erbsenförmige Gattung Schwagerina, die ebenfalls gesteinsbildend in den Schichten von den Alpen bis nach China und Japan nachweisbar ist.

Im karbonischen Tethysmeer bildeten an geeigneten Stellen auch die Korallen ihre großen Riffe. Zwar sind es in der Hauptsache noch altertümliche Bödenkorallen und dicke Einzelkorallen, doch treten allmählich die stockbildenden Formen mehr in den Vordergrund.

Auch die Stachelhäuter entwickeln sich weiter. Formenschöne Seelilien finden sich in großen Mengen in dem Meeresschlamm eingebettet, die zierlichen Knospenstrahler (Blastoideen) erreichen den Höhepunkt ihrer Entwicklung, und Seeigel (Palaechinus, Melonites) gehören zu den häufigeren Versteinerungen.

Auch die Brachiopoden zeigen eine reiche Entwicklung. Neben Spirifer ist es vor allem die Gattung Productus, die weltweit im Tethysmeer verbreitet war.

Diese Tiere zeigen an ihrer Schale lange hohle Stacheln, die die Größe der Schale um das mehrfache übertreffen; jedenfalls dienten sie dazu, die Schalen im Wasser schwebend zu erhalten (Abb. 319).

Von den Mollusken sind einige Muscheln (Aviculopecten, Posidonia, Anthracosia) und Schnecken (Bellerophon, Euomphalus, Pleurotomaria) zu nennen; die Nautilus-Gattung der Cephalopoden bildet viele Gattungen und erreicht jetzt ihren Höhepunkt.

Von den Gliederfüßlern nehmen die Trilobiten weiter an Verbreitung ab, dafür treten neue Krebsgeschlechter auf den Plan, und zahlreiche Insekten tummeln sich in den Wäldern der karbonischen Sümpfe.

Unter den Wirbeltieren fällt vor allem die starke Entwicklung der Haie ins Auge. Während diese in älteren Schichten nur in geringer Menge nachweisbar sind, bevölkern sie jetzt bereits mit mehr als 300 Arten die Meere der Steinkohlenformation. Diese Piraten des Ozeans wurden schon damals ein Schrecken für die Tierwelt; mit ihren spitzen Zähnen räumten sie unter der ihnen schutzlos preisgegebenen Tierwelt auf, und man kann wohl mit Sicherheit annehmen, daß das allmähliche Verschwinden mancher Tiergruppen, wie wir es im Karbon feststellen müssen, auf das Auftreten der Haie zurückzuführen ist. Nur jene Tiere, die durch harte Schalen oder durch spitze Stacheln (wie Productus) geschützt waren, konnten sich erhalten. Die vortrefflichen Lebensbedingungen ermöglichten den Haien eine außergewöhnliche Verbreitung. In relativ kurzer Zeit entstand eine vielfach verzweigte Tiergruppe, deren einzelne Vertreter sich aber allmählich wieder so starke Konkurrenz machten, daß auch zwischen ihnen ein Vernichtungskampf einsetzte. Der größte Teil der Arten mußte bald wieder weichen, und neue Fischformen beginnen aufzutreten, die sich ihrer wohl zu erwehren wissen.

E. Die Perm(Dyas-)formation.

Das Perm, genannt nach dem russischen Gouvernement gleichen Namens, ist die jüngste der paläozoischen Formationen. In Deutschland waren Ablagerungen des Perms schon seit langem durch den regen Bergbau in Thüringen und am östlichen Harzrande bekannt geworden. Bei der Gewinnung des Kupfers aus der dünnen Schicht des Kupferschiefers bei Mansfeld traf man unter den erzführenden Schichten auf rotgefärbte Sandsteine, die die Bergleute als Rotes Liegendes oder als Rotliegendes bezeichneten. Darüber lag — mit dem Kupferschiefer an der unteren Grenze — ein hellfarbener, zäher Kalk, der Zechstein. Diese scharf ausgebildete Trennung der Formation in zwei Abteilungen führte in Deutschland zu der Bezeichnung Dyas (griech. = Zweiheit) für die Permformation.

Der petrographische und paläontologische Charakter des Rotliegenden weist auf Festland und Süßwasser hin, der des Zechsteins auf Meerwasser. Indessen beweist die im ganzen sehr eintönige Fauna des Zechsteins, in der gewisse, anderweitig häufige Tiergruppen völlig fehlen, daß das Zechsteinmeer ein Binnenmeer, etwa in der Art der Ostsee, also mit nur geringer Verbindung zum Ozean, gewesen sein muß. Wie in der Ostsee nur eine Kümmerfauna mit kleinen

Exemplaren leben kann, so zeigt auch das Zechsteinmeer nur verhältnismäßig wenig Tierformen.

Diesem germanischen Binnenmeer steht die ozeanische Fazies mit zahlreichen Fossilien gegenüber, wie sie in Südeuropa und in Asien, also in der Region der Tethys, entwickelt ist, und als dritte permische Ausbildung müssen wir Ablagerungen ansehen, die von einer gewaltigen, den großen Südkontinent betreffenden Eiszeit berichten, und deren deutliche Spuren sich in Südamerika, Südafrika und Indien nachweisen lassen. Die große Abkühlung verdrängte naturgemäß die auf feuchtwarmes Klima eingestellte Pflanzenwelt des Südkontinents; an ihre Stelle trat die sog. Glossopteris-Flora, die auch allmählich auf den Nordkontinent vordrang.

Während des älteren Teiles der Formation wurde die Erde von zahlreichen Eruptionen heimgesucht, die gewaltige Mengen von Eruptivgesteinen an die Oberfläche beförderten. Die ausgedehnte Quarzporphyrdecke von Bozen (vgl. S. 168) entstand während des Rotliegenden, aber auch in England, Frankreich und Deutschland (Thüringen, Nahegebiet) wurden große Massen von Quarzporphyr, Porphyrit und anderen Eruptiven nebst ihren Aschen und Tuffen zur Ablagerung gebracht.

Wir gehen nach diesen allgemeinen Bemerkungen nunmehr zur Erörterung der einzelnen Ausbildungsformen des Perm über und behandeln zunächst die deutsche Dyas.

Das Rotliegende ist in Deutschland bis zu 700 m mächtig und findet sich im Saar-Nahegebiet besonders gut ausgebildet. Die dort vorkommenden Sandsteine, Arkosen und Schiefertone, unterbrochen durch Porphyre und Tuffe, werden nach ihren Verbreitungsgebieten in Cuseler, Lebacher, Tholeyer, Söterner, Waderner und Kreuznacher Schichten eingeteilt, von denen die beiden letzten dem Oberen Rotliegenden entsprechen. Das zweite wichtige Gebiet dieser Formationsabteilung liegt im Thüringer Wald. Auch hier treffen wir auf mächtige Decken von Porphyren, namentlich von Quarzporphyren, Sandsteinen, Konglomeraten und Schiefertonen mit eingeschalteten unbedeutenden Kohlenflözen. In manchen Schichten sind Abdrücke eines Nadelholzes (Walchia) nicht selten, in anderen finden sich Reste von Amphibien (Branchiosaurus) oder Fährten, die in den weichen Schlamm eingedrückt wurden. Das Rotliegende des Thüringer Waldes wird nach den wichtigsten Lokalvorkommen in Gehrener, Manebacher, Goldlauterer, Oberhöfer und Tambacher Schichten eingeteilt.

Auch im südlichen Harz tritt das Rotliegende in die Erscheinung. Die Porphyrite und Tuffe bei Ilfeld gehören dahin; kleine Kohlenlager sind dort abgebaut worden. Östlich davon, im Mansfelder Gebiet, lagern Porphyrkonglomerate unter dem Zechstein. Weit verbreitet ist das Rotliegende bei Chemnitz, Zwickau und Dresden; im Plauenschen Grund bei Dresden sind zahlreiche Stegocephalen gefunden worden. Das Rotliegende Schlesiens (Waldenburger Gebiet) und Böhmens zeigt große Übereinstimmung mit dem des Saargebietes.

Der Zechstein, die kalkig-tonige Bildung eines Binnenmeeres, umgibt in Deutschland bandförmig einige Mittelgebirge. Als nach der Zeit des Rotliegenden

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 316. Die weiße Gipsmauer des Zechsteins am Südrand des Harzes (bei Bad Sachsa).

das Meer vordrang, blieben die Horste der alten Mittelgebirge als Inseln über dem Wasser, das an ihre Ränder anbrandete. Aber auch an anderen Stellen ist Zechstein nachweisbar, nur ist er dort von jüngeren Schichten überdeckt. Er unterlagert beispielsweise einen großen Teil des norddeutschen Tieflandes, vom Rhein bis nach Rußland hinein, sowie der Pfalz bis nach Heidelberg. Das klassische Gebiet des Zechsteins am Harz wurde schon vor mehr als 100 Jahren von Alexander v. Humboldts Freund Freiesleben beschrieben und gegliedert. Seit jener Zeit unterscheidet man die drei Abteilungen des unteren, mittleren und oberen Zechsteins, von denen die unterste mit dem sog. Zechsteinkonglomerat beginnt. Diese Geröllbank ist das Ergebnis des gegen die Küsten schlagenden neuen Meeres, auf sie folgt der nur 50 cm mächtige Kupferschiefer, ein dunkler, bitumenhaltiger Tonschiefer, dessen Erzführung nur auf das unterste Dezimeter beschränkt ist, aber trotzdem genügt, um einen bereits sieben Jahrhunderte alten Bergbau zu ermöglichen. Der Kupferschiefer enthält eine große Menge schmelzschuppiger Fische (Ganoiden, vor allem Palaeoniscus Freieslebeni und Platysomus gibbosus), die durch die später eindringenden Lösungen von Kupfer in Kupferkies umgewandelt wurden und wegen ihres Goldglanzes zu den Prachtstücken jeder Sammlung gehören. Daneben sind auch Zweige einer den heutigen Araukarien nahestehenden Pflanze (Ullmannia) nicht selten, deren Fruchtähren bei Frankenberg in Hessen so häufig gefunden werden, daß sie als „Frankenberger Kornähren" bekannt geworden sind.

Der das Hangende bildende Zechsteinkalk besteht aus dichten Platten und enthält ein paar häufige Versteinerungen: Productus horridus, Spirifer alatus, Schizodus obscurus und andere.

Der mittlere Zechstein setzt sich aus der Rauhwacke und dem Stinkkalk, einem bituminösen Kalk, zusammen und enthält Einlagerungen von Gips, Stein- und

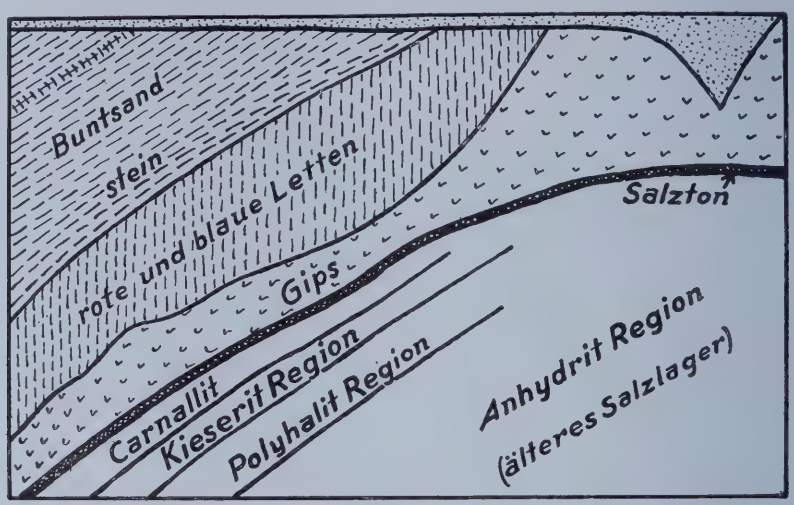


Abb. 317. Profil durch ein Kalisalzlager.

Kalisalz als Zeichen, daß das Meer der Zechsteinzeit wiederholt eintrocknete. Besonders ausgedehnt werden diese Ablagerungen von Gips, Steinsalz und Kalisalzen im oberen Zechstein. Das flache Binnenmeer verlor verschiedentlich seinen Zusammenhang mit dem freien Ozean und dunstete so stark ein, daß sich nicht nur Gips, sondern auch die leichtlöslichen Kalisalze am Boden abscheiden mußten. Das über 1000 m mächtige Steinsalzlager von Sperenberg und das Salzlager von Staßfurt gehören dem oberen Zechstein an, und Gipse finden sich als gewaltige, weißleuchtende Mauern am West- und Südrand des Harzes, wo sie z. B. auf der Strecke Nordhausen—Osterode deutlich in die Augen fallen (Abb. 316).

Am Rande des Zechsteinmeeres trafen Bryozoen, kleine Moostierchen aus der Verwandtschaft der Würmer, auf günstige Lebensbedingungen und bauten in jahrtausendelanger Arbeit hohe Riffe auf, die am Rande des Thüringer Waldes (bei Pößneck und bei Bad Liebenstein) noch heute wie Bastionen aus der Landschaft hervortreten und bisweilen mit Burgen und Schlössern gekrönt sind. Die Riffe sind naturgemäß ohne Schichtung und großenteils in Dolomit umgewandelt; Versteinerungen, vor allem die Bryozoen Fenestella retiformis und Acanthocladia, finden sich deshalb nur in den nicht veränderten Randzonen (Abb. 318).

Das Perm Englands zeigt so viel Übereinstimmung mit dem deutschen, daß man die Hauptschichten miteinander identifizieren kann; dasselbe gilt für das Rotliegende Frankreichs, wo der Zechstein (und damit das Kalisalz) aber völlig fehlt. Die russische Permformation zeigt indessen stark abweichende Verhältnisse. In ihren Schichten, die sich vom Eismeer bis zur Kirgisensteppe ausdehnen, treten als Bewohner des Weltmeers zahlreiche Ammoniten auf, während andere Gesteinslagen zum Teil dieselben Fossilien wie der deutsche Zechstein beherbergen. Eine besonders wichtige Entdeckung bedeuteten die Funde von Landsauriern und Glossopteris-Arten im Oka-Wolgabecken, die bis dahin nur aus der eiszeitlichen Fazies

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 318. Der Römerstein bei Bad Sachsa am Südharz, ein von Mooskorallen gebildetes Riff nahe der Küste des Zechsteinmeeres.

der Südhalbkugel bekannt geworden waren; geht doch aus ihnen hervor, daß das Tethysmeer zeitweise zurückgetreten sein muß und daß dann Landverbindungen zwischen dem Norden und Süden vorhanden waren, die von Pflanzen und Tieren besiedelt wurden.

In den Alpen ist das ältere Perm in Form von Sanden und Konglomeraten vertreten und wird Verrucano genannt. Diese Randbildung kommt bei Bozen und Meran vor und ist durch große Porphyrergüsse ausgezeichnet. Eine entsprechende marine Bildung ist der Trogkofelkalk der Karawanken, während das obere Perm in den Ostalpen durch den Grödener Sandstein vertreten wird.

Ozeanische Ablagerungen finden sich weiterhin auf Sizilien, wo 54 verschiedene Ammonitenarten vorkommen, in Armenien und Vorderindien (im Salt Range-Gebirge); auch in Nordamerika, namentlich in Texas, sind reiche Meeresfaunen aus der Permzeit bekannt geworden.

Im Salt Range-Gebirge hat man nun auch jene Blocklehme und gekritzten Geschiebe zuerst beobachtet, die die bedeutsame Erscheinung einer paläozoischen Eiszeit beweisen. Diese Lehme sind auf der südlichen Halbkugel sehr weit verbreitet, und zwar in Australien in den Gebieten von Neusüdwales, Queensland und Victoria, in Südamerika am Rio Grande do Sul, in Argentinien und auf den Falklandinseln. Besonders weit verbreitet ist der Lehm, der die schon erwähnte Glossopteris-Flora enthält, indessen in Südafrika: vom Kap reicht das sog. Dwyka-Konglomerat quer durch Transvaal und Rhodesia bis nach Kamerun und Njassa.

Nach den geologischen Bemerkungen kommen wir noch auf die Pflanzen- und Tierwelt der Permformation zu sprechen, wie sie sich in den auf dem Land und im

Wasser gebildeten Gesteinen erhalten hat. Manches hatten wir schon bei der Einteilung der Schichten erörtert, so daß wir mit einigen knappen Strichen das Bild des Lebens zu umreißen vermögen.

Die Flora des Rotliegenden schließt sich eng an die karbonische an; wir finden gleiche oder verwandte Formen der Gefäßkryptogamen, während in den Ablagerungen der jüngeren Zechsteinformation sich schon mehr und mehr die Nadelhölzer einstellen, ein untrügliches Zeichen, daß sich auch in der Flora ein Wandel vollzieht und altertümliche Typen allmählich neuen weichen müssen. Die bekanntesten

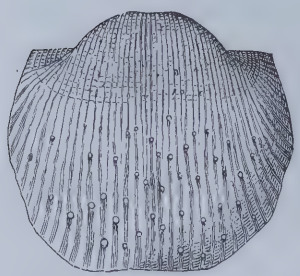


Abb. 319. Productus. Die Stacheln sind abgebrochen.

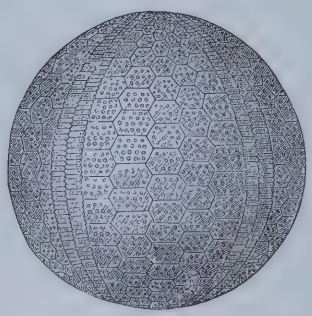


Abb. 320. Palaechinus elegans aus dem Kohlenkalk.

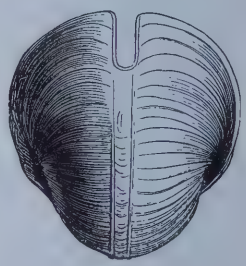


Abb. 321. Bellerophon aus dem Kohlenkalk.

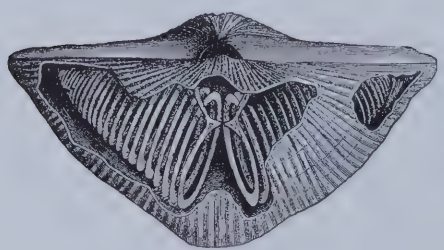


Abb. 322. Spirifer aus dem Kohlenkalk. Die Schale ist aufgebrochen, um die spiraligen Armkegel zu zeigen.

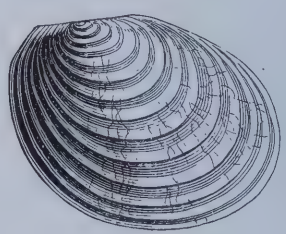


Abb. 323. Posidonomya, eine Süßwassermuschel aus den karbonischen Sümpfen.

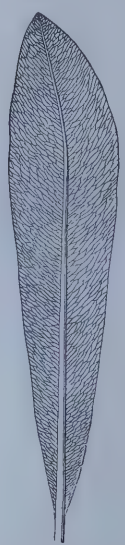


Abb. 324. Glossopteris indica.

Gattungen sind Ullmannia und Voltzia, von denen die letztere im Mansfelder Kupferschiefer recht häufig gefunden wird. Im Gegensatz zu diesen, auf ein feuchtwarmes Klima hinweisenden Pflanzen steht die Glossopteris-Flora der Südhemisphäre mit ihrer Hauptgattung Glossopteris, einem Farn mit ungeteiltem, durch Netzaderung ausgezeichneten Wedel (Abb. 324).

Interessanter ist die Tierwelt der Dyasformation. In den ozeanischen Ablagerungen sind die Foraminiferen noch ebenso stark verbreitet, wie in den oberkarbonischen Schichten; Korallen sind wenig bedeutungsvoll und senden nur ein paar Vertreter ins deutsche Binnenmeer. Auch die Stachelhäuter zeigen keine wesentliche Weiterentwicklung, während aus dem Stamm der Würmer die Klasse der stockbildenden Moostierchen ihre hohen und langen Riffe an den Küsten der deutschen Flachsee aufbaut. Ihre Verwandten, die beschalten Brachiopoden, zeigen

die gleiche Formenfülle wie zur Karbonzeit, aber im deutschen Zechsteinmeer führen sie ebenfalls nur ein kümmerliches Dasein, was auch für die Mollusken (Muscheln und Schnecken) gilt. Dagegen haben sich die Cephalopoden schon wieder weiter spezialisiert; Nautilus-Arten und echte Ammonoideen zeigen an Stelle der primitiven glatten Schale Skulpturen und weisen schon auf die Formen der nächsten Erdperiode hin.

Die Trilobiten nehmen nun endgültig Abschied, dafür treten Tausendfüßler und Insekten stärker in die Erscheinung.

Auch die Wirbeltiere erobern sich mehr und mehr die Welt. Haie sind noch häufig, neben ihnen sind die Schmelzschupper bemerkenswert, deren heute noch lebender Nachkomme der Stör ist. Die leitenden Formen Palaeoniscus und Platysomus sind im Mansfelder Kupferschiefer ziemlich häufig.

Unter den Amphibien nehmen die Stegocephalen einen bevorzugten Platz ein; es sind salamander- und krokodilähnliche Formen mit einigen für die Reptilien typischen Eigenschaften. Die Gattungen Archegosaurus und Branchiosaurus hat man in den Permablagerungen aller Erdteile gefunden. Sie sind wesentlich verschieden von den echten Reptilien, von denen zwei sehr wichtige Ordnungen bereits existieren. Die Rhynchocephalen, eine entwicklungsgeschichtlich bedeutsame Gruppe, weisen als Vertreter Palaeohatteria, den Urahn der rezenten Brückenechse, und Proterosaurus, den Stammvater der Reptilklasse auf, während Pareiasaurus ein Vertreter der Theromorphen ist, jenes Typus, in dem sich bereits die ersten Anlagen der Säugetierorganisation bemerkbar machen.

IV. Die mesozoische Formationsgruppe.

(Das Mittelalter der Erdgeschichte.)

Zwischen dem Perm und der folgenden Formation klafft in Deutschland ein Riß. Nie wieder in der erdgeschichtlichen Vergangenheit macht sich ein so starker Unterschied zwischen zwei Formationen bemerkbar, ein Unterschied, der ebenso das geographische Bild der Erdoberfläche wie die biologischen Verhältnisse betrifft. Nur relativ wenige Organismen retten sich in die neue Zeit hinüber, zahlreiche, bisher unwichtige Geschlechter blühen auf in Meeren, die alte Festländer überschritten haben. Und doch finden sich keinerlei Zeichen für Katastrophen, denen man diesen grundsätzlichen Wechsel zuschreiben könnte. Ganz im Gegenteil: allmählich, ohne deutliche Grenze, gehen die Ablagerungen der beiden Perioden ineinander über, genau wie in der Menschheitsgeschichte das Altertum unmerklich ins Mittelalter ausklingt. Natura non facit saltum — die Natur erlaubt sich keine Sprünge, und so sehen wir, wenn wir nicht die deutschen, sondern die ozeanischen Schichten ins Auge fassen, auch ein allmähliches Übergehen der Formen. Altertümliche Formen lassen sich hier bis hoch in die mittelalterlichen Schichten hinauf verfolgen, und Vorboten der neuen Tierwelt künden sich bereits in permischen Schichten an. Vielleicht hat die Perm-Eiszeit, deren Wirkungen sich bis weit nach Norden

fühlbar machen mußten, eine große Auslese gehalten; nur die sich den veränderten klimatischen Verhältnissen anpassenden Organismen überlebten die kalte Zeit, während die altertümlichen, auf die Bedingungen der Urweltmeere spezialisierten Typen unterliegen mußten. Wer sich überlegen zeigte, ging nicht nur als Sieger über die Außenwelt hervor, sondern nahm auch den Vernichtungskampf mit den geschwächten Formen auf. So unterliegen die Brachiopoden den Mollusken, die tabulaten Korallen werden durch die riffbildenden sechsstrahligen Korallen abgelöst, die Seelilien durch die widerstandsfähigeren Seeigel. Die Klasse der Ammonoideen blüht zu einer ungeheueren Formenfülle auf, und neben ihnen bevölkern Tintenfische die weiten Meere. Die Haie und die Schmelzschupper müssen den leichtbeweglichen Knochenfischen das Feld räumen, und im Wasser wie auf dem Lande treibt nunmehr die Klasse der Reptilien zahlreiche Sprosse. Was sich aber schon zur Permzeit vorbereitete, kommt jetzt mehr und mehr zur Erfüllung. Aus den Reptilformen entwickeln sich zwei neue Typen des Lebens: die ersten Vögel treten die Herrschaft über das Luftmeer an, und in zunächst winzigen Formen kommen die Säugetiere auf den Plan, denen die fernere Zukunft gehört.

Parallel mit dieser tierischen Entwicklung läuft diejenige der Pflanzenwelt. Schuppen- und Siegelbäume, sowie die Schachtelhalme, aus deren Wäldern einst die Kohle entstand, sind dem veränderten Klima fast völlig zum Opfer gefallen, die härteren Koniferen haben ihre Stelle eingenommen, und im Verlauf der mesozoischen Ära erhebt auch die erste Blütenpflanze ihre duftende Blume zum Lichte empor.

A. Die Triasformation.

Die älteste der drei mesozoischen Formationen wurde von ihrem ersten Erforscher Alberti als Trias bezeichnet (griech. trias = Dreiheit), weil sie sich deutlich in die drei Unterabteilungen Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper gliedert. Die Trias ist so ausgesprochen eine deutsche Formation, daß der leitende Ammonit Ceratites nach dem Vorschlag eines Geologen eigentlich ins deutsche Wappen gehörte: von Luxemburgs Grenze bis nach Oberschlesien, vom schwäbischen Jura bis nach Helgoland sind triassische Ablagerungen in unserem Vaterlande verbreitet. Und trotzdem ist diese ganze ausgedehnte Schichtenfolge nur wieder der Absatz aus einem Binnenmeer, während das eigentliche große Weltmeer fern von Deutschland flutete. Die Absätze dieses Ozeans, die die sog. alpine Trias zusammensetzen, bilden die eigentliche Formation, die germanische Ausbildung in Deutschland ist nur gleichsam ein Anhängsel dazu. Während nun aber in der Dyaszeit Verbindungen zwischen dem Ozean und dem Binnenmeer bestanden, werden die faunistischen Unterschiede zwischen beiden in der Triaszeit so groß, daß man notgedrungen eine Landscheide zwischen dem Ozean und dem Binnenmeer angenommen hat. Dieses „vindelizische Gebirge" lag auf der schweizerisch-schwäbisch-bayerischen Hochebene und dehnte sich gen Westen bis nach der Riviera, gen Osten bis zum Böhmerwald aus. Südlich von dieser Landschranke flutete das uns schon bekannte Mittelmeer, die Tethys; es reichte von Mittelamerika über Europa-Nordafrika bis zum Malaiischen Archipel und grenzte an den großen Südkontinent, der sich von Brasilien

bis nach Australien dehnte und dessen, Afrika und Indien in sich begreifendes Kernstück als Gondwanaland bezeichnet wird.

Auf der Nordhemisphäre lagen zwei Kontinente, ein westlicher, Nordamerika und Grönland umfassender, und ein östlicher in der ungefähren Ausdehnung des heutigen Eurasiens. Außerdem bedarf noch der Pazifische Ozean der Erwähnung, der ja auch bereits im Paläozoikum bestand, der aber während der Triaszeit ausgedehnter als heute war und große Landmassen des westlichen Nordamerika und Ostasiens überflutete. Und zur Vervollständigung des Kartenbildes fehlt schließlich noch das arktische Meer, dessen Ablagerungen auf Spitzbergen und im östlichen Sibirien gefunden worden sind.

Wir betrachten zunächst die uns am nächsten liegende Binnenmeerfazies der Trias, die im mittleren und südlichen Teil unseres Vaterlandes die vorherrschende Formation ist, die aber auch in Norddeutschland entweder in vereinzelten Schollen zutage tritt (so in Rüdersdorf bei Berlin oder bei Lüneburg) oder in der Tiefe erbohrt worden ist. Aber auch über die Landesgrenzen hinaus erstrecken sich triassische Ablagerungen nach Belgien, Frankreich und Spanien einerseits, nach Polen und Rumänien andererseits hinein.

a) Der Buntsandstein.

Das untere Glied der deutschen Trias besteht aus einer 200—1000 m mächtigen Folge bunter, zumeist durch Eisenoxyd rötlich gefärbter Sandsteine, die entsprechend den Sanden des Old red (vgl. S. 345) als eine Wüstenablagerung angesprochen werden müssen. Die Sande wurden durch gewaltige Stürme hin- und hergeworfen; reißende Flüsse, die ebenso schnell aus Wolkenbrüchen entstanden, wie sie unter den sengenden Strahlen der Sonne wieder vergingen, sorgten für Sortierung und Umlagerung des lockeren Gesteins, und im feuchten Lehm bildeten sich im Sonnenbrand netzartige Trockenrisse, die vielfach fossil erhalten sind.

Die unteren Schichten des Buntsandsteins sind ziemlich feinkörnig, sie lassen sich in Süddeutschland vortrefflich zu Bausteinen und Skulpturen verarbeiten, wie zahlreiche Sakral- und Schloßbauten aus mittelalterlicher Zeit veranschaulichen. Die einzelnen Sandkörner sind im Gestein durch ein toniges Bindemittel verbunden, das an gewissen Stellen reines Kaolin ist und seit alter Zeit Veranlassung zur Porzellanherstellung gegeben hat (Thüringer Wald).

Der mittlere oder Hauptbuntsandstein besteht aus grobkörnigen, rötlichen Sandsteinen, zwischen denen auch feste Konglomeratbänke auftreten. Besonders mächtig ist das Hauptkonglomerat des Schwarzwaldes und der Vogesen, das wegen seiner größeren Widerstandsfähigkeit gegen die Verwitterung deutliche Bastionen an den Talhängen bildet und deshalb die geeignetsten Plätze für Burgen und feste Schlösser abgab. Auch die Bausandsteine Hessens und des Deistergebirges bei Hannover, die Kugelsandsteine des Odenwaldes und der Haardt gehören dieser Stufe an. Die Sandsteine zeigen häufig sehr deutlich ausgeprägte Kreuzschichtung (Abb. 150), und über ihre Oberfläche müssen an einigen Stellen große Echsen hinweggelaufen sein, deren Füße handförmige Fährten hinterließen. Solche „Chirotherien"-Reste sind im mittleren Buntsandstein von Thüringen, Franken und Hessen nicht selten,

die Fossilführung beschränkt sich auf einige kümmerliche Reste von Pflanzen und Tieren. Sie beweist auch eindeutig, daß der Buntsandstein eine festländische Bildung ist, und daß die klimatischen Verhältnisse der damaligen Zeit etwa denen des heutigen Tarimbeckens entsprachen, das ja auch eine Wüste darstellt, in der große Ströme fließen und in der ein großer See, der Lob Nor, seinen Standort um über 150 km in der kurzen Spanne geschichtlicher Zeit verändert hat. Wie im Tarim, so haben jedenfalls auch im Wüstengebiet der Buntsandsteinzeit die Ströme von randlichen Gebirgen die Schotter und den Sand bis ins innere Becken transportiert und hier zu mächtigen Schichten aufgehäuft.

Über diese Wüstenlandschaft ergossen sich nun von neuem die Wellen des Meeres. Der obere Buntsandstein oder das Röt beginnt mit bunten Mergeln, auf welche Sande und dolomitische Kalke zur Ablagerung kamen, in denen nun typische Meeresformen auftreten. Nicht plötzlich und mit einem Schlage, sondern nur Schritt für Schritt konnte das Meer in die Wüste vordringen. Die Strandlinie pendelte hin und her, in den neugebildeten Buchten verdunstete das Wasser unter den Strahlen der Wüstensonne, so daß sich allenthalben Gips, an manchen Stellen, so bei Bad Harzburg, sogar Steinsalz abscheiden konnte. Aber unaufhaltsam drang das Meer vorwärts, und zu Beginn des Muschelkalks ist der ehemalige Wüstenboden zum Meeresgrund geworden, auf dem sich nun die marinen Schichten ablagern.

b) Der Muschelkalk.

Zwischen 250 und 350 m Mächtigkeit zeigen die Ablagerungen dieses Meeres, die aus dünnschichtigen oder gebankten Kalksteinen und kleinen Mergellagen bestehen, während am Rande des Meeres, im Rheinland, sandige Gesteine abgesetzt wurden.

Die Muschelkalkfauna zeichnet sich durch großen Reichtum an Individuen bei geringer Artenzahl aus, wie das für Binnenmeere typisch ist. Das Muschelkalkmeer drang durch eine enge Pforte in Oberschlesien ein und zeigte einen vom Weltmeer abweichenden Salzgehalt, so daß empfindliche Tiere in ihm nicht zu leben vermochten. Genau wie in der westlichen Ostsee heute eine reichere Fauna lebt als im östlichen Teil dieses Meeres, so finden wir auch im schlesischen Muschelkalk mehr Arten als im thüringischen. Mitunter trocknete auch das seichte Meeresbecken ein, so daß sich Gips und Anhydrit absetzen mußten, und erst neue Vorstöße des Meeres brachten normalere Verhältnisse und damit neue Tierformen mit sich. Daß das Wasser sehr wechselnd gewesen sein muß, geht aus dem lückenhaften Auftreten mancher Versteinerungen hervor. Die Brachiopodengattung Terebratula gelangt beispielsweise in großen Mengen bereits während der Rötzeit in das germanische Meer, verschwindet dann und tritt wieder in der unteren Terebratelbank so massenhaft auf, daß das Gestein fast ganz aus den Bruchstücken ihrer Schalen besteht. In der nächsten, 30 cm dicken Schicht fehlt sie, um in der zweiten Terebratelschicht erneut herdenweise zur Ablagerung zu kommen. Dann ist sie wieder spurlos verschwunden, um erst im oberen Muschelkalk wieder gesteinsbildend zu werden. Wir können uns diesen Wechsel nur durch abwechselndes Einwandern und Absterben erklären, das durch Eindringen und Abdämmen des Binnenmeeres bedingt wurde.

Die Gliederung der Muschelkalkschichten geht sehr ins einzelne, und zahlreiche Leitfossilien ermöglichen es, genaue Profile aufzunehmen. Der untere Muschelkalk beginnt mit Wellendolomit; darauf lagert der aus welligen dünnen Schichten bestehende untere Wellenkalk mit der kleinen Schnecke Natica gregaria. Der obere Wellenkalk enthält zwei durch 30 m dünnschichtigen Kalk getrennte dickbankige Werksteinbänke, deren untere nach ihrem Leitfossil Terebratula-Kalk, deren obere wegen ihres porösen Charakters Schaumkalk genannt wird. Wichtige Fossilien des unteren Wellenkalkes sind Terebratula vulgaris (Abb. 326), Gervillia socialis, Myophoria vulgaris und elegans, Lima lineata, Nucula, Spiriferina, Pecten, Ostrea

Phot. Dr C. W. Schmidt.

Abb. 325. Der Jenzig bei Jena besteht in seinem unteren, von Feldern bedeckten Teil aus bunten Rötschichten, in seinem oberen, steilen Teil aus den horizontal verlaufenden Bänken des unteren Muschelkalks (Wellenkalks).

und andere, die in manchen Schichten massenhaft vorkommen. Ammoniten sind so selten, daß sie sich anscheinend nur hin und wieder einmal in das Binnenmeer verirrt haben.

Nachdem das Meer sich während der Wellenkalkzeit immer mehr vertieft hatte, trat in der mittleren Muschelkalkzeit eine schnelle Verflachung ein. Dolomitische Mergel und löcherige „Zellenkalke" wiegen vor, und Anhydrit-, Gips- und Steinsalzmassen sind sehr häufig und werden in Mittel- und Süddeutschland abgebaut bzw. durch Solquellen ausgenutzt.

Der obere oder Hauptmuschelkalk wird durch eine 40—120 m mächtige Schichtenfolge dargestellt. Zu unterst lagern die harten Trochitenbänke, so genannt nach den zahlreichen Stielstücken (Trochiten) der Seelilie Encrinus liliiformis, deren außerordentlich häufiges Auftreten beweist, daß das Wasser des Binnenmeeres dem

des freien Ozeans ähnliche Verhältnisse gezeigt haben muß. Das geht auch aus dem Vordringen der Gattung Ceratites (Abb. 327) hervor, die in mehreren Arten für die obere Abteilung des oberen Muschelkalkes bezeichnend ist (sog. Nodosen-Schichten). Und wenn man die etwas abweichenden, nur 10 m dicken Schichten des schlesischen oberen Muschelkalks mit ihren zahlreichen Tierformen aus dem Weltmeer betrachtet, so wird man zu der Annahme gedrängt, daß das Weltmeer im deutschen Triasgebiet nun endgültig die volle Herrschaft angetreten hat. Aber kaum war es so weit, als sich wieder alles änderte und sich erneut das feste Land aus den Fluten erhob.

c) Der Keuper.

Rötliche Letten, helle Sande, unreine Kalke setzen die Schichten der Keuperzeit zusammen. Schon die untersten Ablagerungen weisen auf festländische Verhältnisse

Abb. 326. Terebratula vulgaris, ein Brachiopod aus dem Muschelkalk.

Abb. 327. Ceratites nodosus, ein wichtiges Leitfossil des oberen Muschelkalkes. (Aus Haase.)

hin: Schachtelhalme und andere Sumpfpflanzen vermoderten und bildeten zahlreiche kleine Kohlenlager (Lettenkohle). Aber bald drang das Meer vor und lagerte über dem Pflanzenmoder als marines Sediment den Grenzdolomit ab, in dem wir die bekannten Muschelkalkfossilien wieder antreffen. Dann mußte das Meer erneut zurückweichen, wenn es wohl auch später immer wieder Vorstöße versuchte; die höheren Lagen des Keupers sind auf dem festen Lande in Buchten von Flüssen oder in Lagunen abgesetzt. Nun aber drang von Süden her der Ozean erneut gegen das Sumpfland vor, und nach langem, hin- und herwogenden Kampfe, wobei die Wellen mehr und mehr an Boden gewannen, gelang es ihnen am Ende der Formationsabteilung endgültig wieder, die Herrschaft über das Festland anzutreten.

Diese wechselvollen Ereignisse können wir aus den Schichten des Keupers ablesen, die in bunter Folge Land-, Süßwasser- und Meeresabsätze aufweisen.

Der untere oder Kohlenkeuper setzt sich aus Letten und Sanden mit eingeschalteten kleinen Kohlenflözchen zusammen. Am Rande des Festlandes (an den Ardennen) wurden als Strandbildung Konglomerate aufgeschichtet, und den Abschluß

nach oben bildet der Grenzdolomit mit der Muschel Myophoria Goldfußi, dem Muschelkrebs Estheria minuta, mit Fischresten und mit den Zähnen der Dipnoergattung Ceratodus sowie mit Knochen des auch im Muschelkalkmeer heimischen Sauriers Nothosaurus und seines Verwandten Mastodonsaurus.

Während der Kohlenkeuper im Höchstfall nur 50 m mächtig wird, erreicht der mittlere (Haupt- oder Gips-) Keuper bis 450 m Mächtigkeit. In Süddeutschland gliedert er sich in den unteren, gipsreichen Hauptkeuper, das Sediment eines wechselnden Meeres, in den festländisch entstandenen Hauptkeuper, der im schwäbischen „Schilfsandstein" zahllose Pflanzenreste in sich birgt, und in den oberen Hauptkeuper, der neben Sanden und Letten wieder gipsführende Bänke aufweist. In ihm sind die berühmten Saurierfunde bei Halberstadt gemacht worden: prächtig erhaltene Exemplare von Plateosaurus wurden dort neben Fischen, Stegocephalen und Schildkröten zutage gefördert.

Während aber im mittleren Keuper an manchen Stellen ebenfalls festländische Kohlenflöze nachgewiesen worden sind, bekundet der obere Keuper oder das Rhät nun das neue Vordringen des Ozeans. Zu unterst liegen zwar noch festländische Sandsteine, die in Franken einen hochgeschätzten Baustoff liefern, darüber folgen aber typische Meeressedimente mit Muscheln, Fischen und Reptilien, deren Reste an einigen Orten so stark angehäuft sind, daß sie gesteinsbildend werden und ein sog. Bonebed (Knochenbett) liefern. Zwei Merkmale der Fauna sind außerordentlich wichtig: zunächst finden sich in den Bonebeds die Reste der ersten Säugetiere (Gattungen Triglyphus und Microlestes), sodann sind aber die Muscheln des Rhät identisch mit denen der ozeanischen Trias, ein Zeichen, daß der Ozean in das germanische Binnenmeer eingeströmt ist.

Bevor wir auf diese ozeanische Fazies eingehen, sei noch kurz auf die festländischen triassischen Ablagerungen in anderen Ländern hingewiesen. In England ist der Buntsandstein — hier im Gegensatz zum Old red als New red sandstone bezeichnet — ganz entsprechend dem deutschen ausgebildet; an Stelle des Muschelkalkes findet sich allerdings Sandstein, der Keuper ähnelt aber wieder der germanischen Ausbildung.

Auch im östlichen Teile wie im Felsengebirge Nordamerikas finden sich mächtige Sandsteine mit zum Teil reicher Flora, die in Arizona die berühmten versteinerten Wälder bildet, und ähnliche triassisch-festländische Schichten treffen wir in weiter Ausdehnung auch in Südamerika, Südafrika und in Indien an.

d) Die ozeanische Trias.

Die ozeanische Fazies der Trias wurde zuerst in den Alpen und Karpathen untersucht, wo das Studium allerdings durch die tektonischen Veränderungen, welche die Ablagerungen erlitten haben, sehr erschwert wurde. Später fand man triassisch-ozeanische Sedimente im Himalaja, im Salt Range und in den das pazifische Weltmeer umgebenden Gebirgen sowie in manchen Küstengebieten des Mittelmeers. Obgleich zahlreiche Geologen sich um die Erkenntnis der alpinen Trias bemüht haben, sind im einzelnen noch viele Fragen ungeklärt, denn neben der verwickelten Tektonik kommt als erschwerender Umstand für eine klare Gliederung der überaus

starke Fazies- und Faunenwechsel hinzu, der es bedingt, daß gleichalterige Schichten trotz naher Nachbarschaft ein sehr verschiedenes Aussehen zeigen können. Immerhin ist man sich über die Einteilung im großen durchaus klar, und für unsere Zwecke genügt ja eine kurze Übersicht der wichtigsten Stufen. Die untere alpine Trias oder Scythische Stufe entspricht dem germanischen Buntsandstein. Sie besteht in den Ostalpen aus grauen und rötlichen, schieferigen Sandsteinen mit kalkigen Einlagerungen, die im seichten Wasser abgesetzt wurden und je nach der Örtlichkeit 10—1000 m mächtig sind. Nach ihrem Hauptvorkommen bei Werfen an der Salzach werden sie Werfener Schichten genannt. In Tirol gliedert man sie noch in die unteren, auf dem permischen Grödner Sandstein liegenden Seiser Schichten (Seiser Alpe am Schlern) und die oberen Campiler Schichten. Einige Muscheln, Schnecken und Ceratiten sind häufig, das Auftreten von Myophoria costata, die ja das Leitfossil des Röt ist, gestattet es, beide Fazies genau miteinander in Vergleich zu setzen.

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 328. Schichten der alpinen Trias. Der senkrechte Absturz des Untersberggipfels bei Berchtesgaden. Auf dem Gipfelplateau Latschenbestände. (Die Höhe des Absturzes beträgt etwa 250 m.)

Dem Muschelkalk entsprechen zwei Stufen: die Anisische und die Ladinische. Infolge ihrer großen petrographischen Unterschiede haben sich viele lokale Bezeichnungen eingebürgert, die wir hier übergehen dürfen. In der Anisischen Stufe finden sich einesteils große Riffbildungen, wie der Mendeldolomit (bei Bozen) und der Dolomit der Ramsau südlich von Berchtesgaden, andererseits treten wohlgeschichtete Muschelkalke auf, so die dolomitischen Reichenhaller Kalke im Norden, die brachiopodenreichen Kalke von Recoaro im Süden. Die in Südtirol verbreitete Ladinische Stufe zerfällt in die ammonitenreichen dunklen Buchensteiner Schichten, in die schieferigen Wengener Schichten und zu oberst in die fossilreichen Schichten von St. Canzian in Südtirol, aus denen man mehrere hunderte Arten von Versteinerungen beschrieben hat. In den Nordalpen entsprechen dieser Stufe die dunklen,

fossilarmen Partnachschichten (Partnachklamm bei Partenkirchen), und besonders interessant sind die aus winzigen Kalkalgen (Gyroporella-Arten) aufgebauten Schichten des Schlerndolomits (Abb. 329), des Marmolatakalkes im Süden und des Wettersteinkalkes im Norden (Abb. 328).

Die obere alpine Trias beginnt mit der Karnischen Stufe oder den Raibler Schichten, die neben Fischen und Krebsen auch Pflanzenreste enthalten, also in der Nähe des Strandes gebildet sein müssen, genau wie ihre Äquivalente in den Nordalpen, die sich aus den verschiedensten Gesteinen zusammensetzen. Wenden

Abb. 329. Aus dem Schlerngebiet in den Dolomiten.
Der Dolomit verwittert zu bizarren, steilwandigen Formen.

wir uns nach Osten, so gelangen wir gleichsam in tieferes Wasser, in dem Kalke und Dolomite zum Absatz gelangten. Diese sind nun für die nächst höhere Norische Stufe besonders bemerkenswert, wo sie als Dachsteinkalk und als Hallstätter Kalk in großer Mächtigkeit auftreten. Muscheln, Schnecken und Ammoniten sind in ihnen stark verbreitet, während in einem Zwischenglied, dem Asphaltschiefer von Seefeld in Tirol (an der Karwendelbahn) Fischreste so häufig sind, daß aus den Schiefern das Bitumen gewonnen werden kann.

Über der Norischen lagert die Rhätische Stufe oder die Zone der Kössener Schichten, aus Mergeln und Kalken bestehend, in denen sich zahlreiche Muscheln und Brachiopoden mit der Leitform Avicula contorta finden.

Hinsichtlich des Fossilinhalts der Trias genügen einige zusammenfassende Hinweise, nachdem das Wesentliche schon bei den einzelnen Stufen gesagt wurde.

Von Pflanzen finden sich Cycadophyten und Koniferen. Die Buntsandsteinflora ähnelt durchaus noch der permischen, während diejenige des Rhät schon auf

den Jura hindeutet. Wichtig sind die riffbildenden Kalkalgen der Gattungen Diplopora und Gyroporella.

Von den niederen Tieren sind wieder einige primitive Formenkreise verschwunden, so die Tabulaten, die vierstrahligen Korallen und die urtümlichen Seelilien. Auch die Brachiopoden sind jetzt von den Muscheln überflügelt worden, häufig sind eigentlich nur noch die Dauerformen Rhynchonella und Terebratula.

Wichtige Leitfossilien werden die Ammoniten, so Ceratites, Ptychites, Trachyceras, Tropites, Pinacoceras.

Die Haie sind noch durch einige Gattungen vertreten, mit ihnen nehmen die Ganoiden (Semionotus), die Dipnoer (Ceratodus) und die ersten Knochenfische den Wettbewerb auf.

Von den Amphibien sind die riesigen Labyrinthodonten, eine Gruppe der Stegocephalen, mit den Gattungen Mastodonsaurus, Trematosaurus u. a. besonders auffallend, die Reptilien entfalten sich zu weiterer Formenfülle, Krokodile (Belodon, Aetosaurus), Schreckensechsen (Dinosaurier: Zanclodon), Schildkröten und Flugechsen sind gefunden worden, und als erste Spuren der Säugetiere hat man Unterkiefer von Ur-Beuteltieren nachweisen können.

B. Die Juraformation.

Hatten wir in der oberen Trias den erbitterten Kampf zwischen dem Keuperfestland und dem immer wieder vordringenden Ozean verfolgen können, so stellt sich die Juraformation als eine Zeit reiner Meeresbedeckung dar. Der Name „Jura", dem Schweizerischen Juragebirge entlehnt, wurde von Alexander v. Humboldt in die Literatur eingeführt, und deutschen Geologen, wie v. Buch, Quenstedt und Oppel, ist die genaue Gliederung der Formation zu danken. Nach der vorwiegenden Färbung der Gesteine hat man den unteren Jura als schwarzen, den mittleren als braunen und den oberen als weißen Jura bezeichnet. In England führte man für die einzelnen Hauptabschnitte, die indessen den oben genannten nicht völlig entsprechen, die Bezeichnungen Lias, Dogger und Malm ein, die auch bei uns gebräuchlich sind. Eine weitergehende Aufteilung der Formation, und zwar nach leitenden Fossilien, in 20 Zonen hat Oppel vorgenommen.

Besonders interessant ist es, daß Neumayr schon vor mehreren Jahrzehnten auf Grund faunistischer Merkmale klimatische Unterschiede in den einzelnen Teilen der jurassischen Meere feststellen konnte. Er unterschied zunächst eine mitteleuropäische Juraprovinz, die sich durch bestimmte Ammoniten und durch zahlreiche Korallenriffe auszeichnet; sie ist außer in Südwestdeutschland in Frankreich und England, im Baltikum, im nördlichen Kaukasus, in Japan und in Kalifornien entwickelt und entspricht einem nördlichen Meere. Dieses ist getrennt von der alpinen oder mediterranen Juraprovinz, welche Alpen, Karpathen, Spanien, Italien, Balkan, Krim, Kaukasus, Kleinasien, Vorderindien, Teile von Afrika und Mexiko und Peru umfaßt, also im großen ganzen der Tethys entspricht. In diesem Meere herrschten einige Ammonitengattungen (Phylloceras, Lytoceras, Simoceras) und die durchlöcherte Terebratula diphya vor. Die dritte, boreale oder russische Juraprovinz schließlich läßt sich im nördlichen und mittleren Rußland, in Sibirien,

auf Spitzbergen und Grönland sowie im nordwestlichen Nordamerika nachweisen; der Ammonit Cardioceras und die Muschel Aucella sind die verbreitetsten Bewohner dieses Meeres gewesen.

Allerdings muß man annehmen, daß die genannten drei Provinzen zeitweise ineinander übergingen, und der mitteleuropäische Jura ist wohl sicher nur wieder als die Flachseeausbildung des alten Tethysmeeres anzusehen.

Da die Ablagerungen des unteren Jura viel weniger weit verbreitet sind als diejenigen des mittleren und oberen Jura, so muß man eine sehr große Transgression annehmen, die in der mittleren Abteilung der Formation einsetzte und allmählich einen großen Teil des festen Landes überschwemmte.

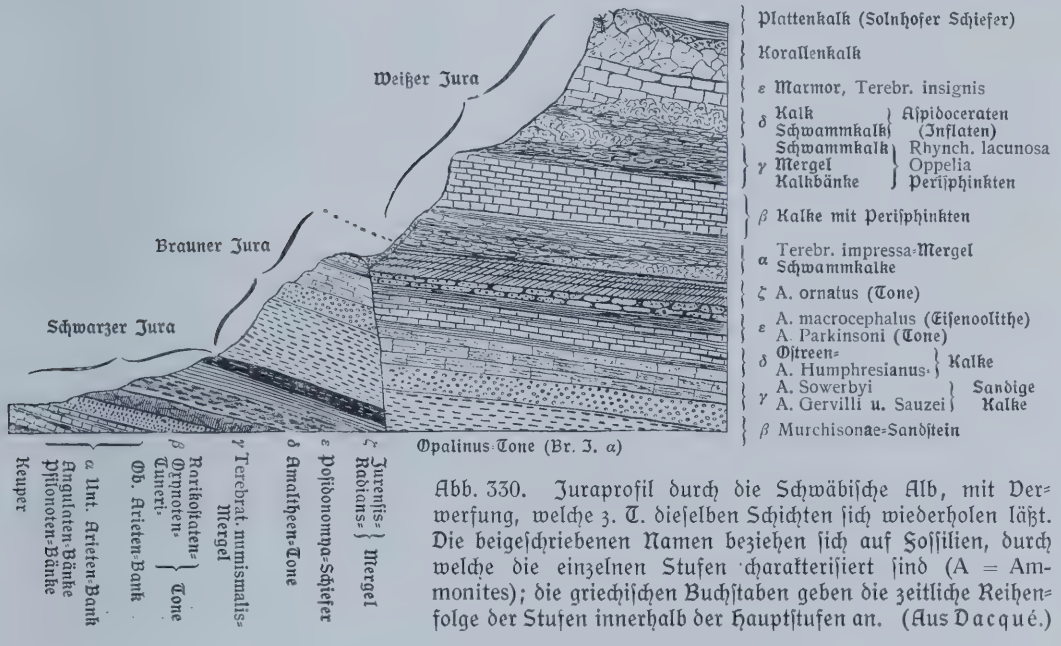


Abb. 330. Juraprofil durch die Schwäbische Alb, mit Verwerfung, welche z. T. dieselben Schichten sich wiederholen läßt. Die beigeschriebenen Namen beziehen sich auf Fossilien, durch welche die einzelnen Stufen charakterisiert sind (A = Ammonites); die griechischen Buchstaben geben die zeitliche Reihenfolge der Stufen innerhalb der Hauptstufen an. (Aus Dacqué.)

Wir begnügen uns damit, ausführlicher den Jura Mitteleuropas zu besprechen, der besonders gut in Deutschland entwickelt ist. Der schwäbisch-fränkische Jura bildet einen Winkel, dessen Scheitel etwa bei Regensburg liegt, der norddeutsche Jura zieht sich in einzelnen Ketten von Quedlinburg a. H. bis zum Teutoburger Wald und bildet als wichtigste Erhebung das Wesergebirge. Daneben treten noch einige kleine Jurafetzen in Norddeutschland auf, so bei Kolberg, bei Kammin, in Mecklenburg und im Posener Gebiet; auch in Thüringen (bei Eisenach) und im Rheintal (bei Zabern) sind einige Juraschollen erhalten geblieben.

Von außerdeutschen Vorkommen sind in erster Linie der Schweizer Jura, dessen Schichten in zahllose Falten gelegt sind, zu nennen, ferner der um das französische Zentralplateau und um das Pariser Becken gelagerte französische Jura und die ausgedehnten Juraschichten in England.

a) Der schwarze Jura (Lias).

Der schwarze Jura wurde in Schwaben von F. A. Quenstedt in sechs Abteilungen gegliedert, die dieser mit den ersten Buchstaben des griechischen Alphabets als α, β, γ, δ, ε, ζ bezeichnete. Die unterſten Schichten ſind Kalke mit Ammonites planorbis, darauf folgen Sandſteine und dann die dunklen Kalke mit der für den

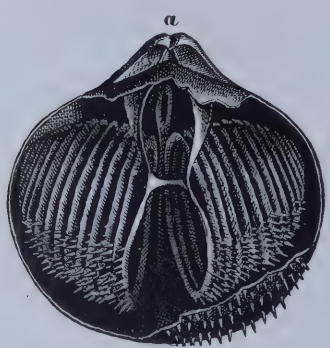


Abb. 331. Der Armfüßer Spiriferina. Die Schale iſt aufgebrochen, um die dornigen Armſpiralen zu zeigen.

Abb. 332. Diceras, eine ſeltſam geformte Muſchel aus dem oberen Jura.

Abb. 333. Die Krone der Seelilie Pentacrinus ($^1/_5$ der nat. Größe). Rechts Einzelglieder (Trochiten) und Stücke des Stieles.

Lias bezeichnenden Gattung Arietites und mit der feſtgewachſenen, unſymmetriſchen Muſchel Gryphaea arcuata. Darauf folgen Schiefertone mit verkieſten Ammoniten.

Der mittlere Lias (γ und δ) beſteht aus einem dunklen Mergel, in dem Terebratula numismalis (ſo genannt wegen ihrer flachen, münzenähnlichen Form) leitend iſt, und aus den fetten Amaltheentonen, die zahlreiche Foſſilien in ſich bergen, vor allem Ammonites amaltheus, Belemnites paxillosus und Stielglieder der fünfkantigen Seelilie Pentacrinus (Abb. 333).

Der obere Lias (ε und ζ) besteht aus dunklen Posidonienschiefern mit Muscheln (Posidonia Bronni), Ammoniten, Belemniten, Fischen, Krokodilen und Schwimmechsen. Ergiebige Fundorte dieser Ichthyosaurier, die als ganze Skelette in vor-

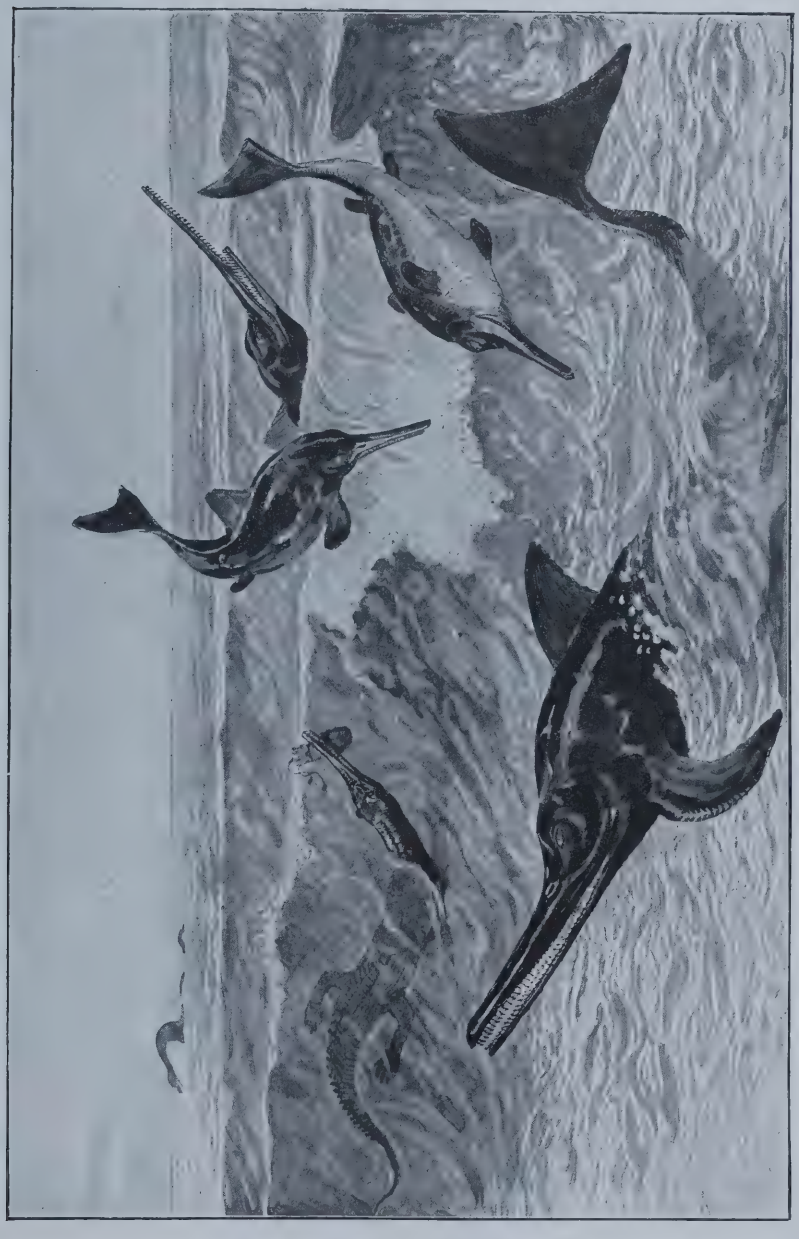


Abb. 334. Spielende Ichthyosaurier im Liasmeer (n. Walther).
Diese Fischechsen sind in den feinkörnigen dunklen Liasschichten so prächtig erhalten, daß man durch vorsichtige Präparation das ganze Skelett mit allen Einzelheiten freilegen kann.

trefflicher Erhaltung aus dem weichen Gestein herauspräpariert werden können und Prunkstücke jeder geologischen Sammlung sind, liegen bei Holzmaden in Württemberg und bei Schloß Banz gegenüber dem Staffelstein in Franken. Den Abschluß bilden Mergel mit Ammonites (Lytoceras) jurensis und Belemnites digitalis.

b) Der braune Jura (Dogger).

Auch der braune Jura, insgesamt etwa 150 m mächtig, ist am besten in Schwaben ausgebildet. Wie der Lias ist er in sechs Abteilungen gegliedert (α—ζ). Der untere Dogger beginnt mit dunklen Schiefertonen, in denen Ammonites opalinus leitend und die sehr schöne Muschel Trigonia navis häufig ist. Darüber liegen gelbe Sandsteine mit Oolithen von Roteisenerz, die bei Aalen in Württemberg abgebaut werden.

Der mittlere Dogger (γ, δ) enthält Kalke mit Korallenbildungen und darüber Tone mit dem riesenhaften Belemnites giganteus sowie Kalke mit schön skulptierten Ammoniten (sog. Coronaten).

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 335. Bizarre Riffbildungen im fränkischen Jura bei Tüchersfeld (Fränkische Schweiz).

Der obere Dogger (ε, ζ) besteht aus Tonen mit Ammoniten (Ammonites Parkinsoni und A. macrocephalus), Rhynchonella varians, Belemniten und Austern (Ostrea-Arten). Sein Hangendes bildet der Ornatenton, ein brauner Ton mit zahlreichen schönen Ammoniten.

Während der mittlere Jura in Franken ganz entsprechend gegliedert ist, weicht in Lothringen und im benachbarten Luxemburg die Ausbildung dadurch ab, daß in den unteren Schichten ein rotes oolithisches Eisenerz, die sogenannte Minette, auftritt, das Veranlassung zu einem großzügigen Bergbau gegeben hat, und daß die oberen Abteilungen durch den Hauptoolith, einen als Baustein geschätzten dickbankigen Kalkstein, vertreten sind.

c) Der weiße Jura (Malm).

Scharf hebt sich der 300—400 m mächtige, aus hellfarbenen Kalken zusammengesetzte Malm von den braunen Schichten des Doggers ab, über die er sich mit steilen Abhängen erhebt. Seine Gliederung in sechs Abteilungen wird dadurch erschwert, daß sich in die wohlgeschichteten Sedimente des Meeres klotzige, ungeschichtete Riffe einschieben, die von Kalkschwämmen oder von Korallen aufgebaut werden.

Der untere Malm (α, β) setzt mit hellfarbigen Tonen ein, in denen Muscheln und Kopffüßer häufig sind. Seine Leitform ist Terebratula impressa. Darüber lagern die fossilreichen, geschichteten Kalke, bzw. ihre Riffausbildungen, die neben Mergeln und Kalken auch den mittleren Malm (γ, δ) beherrschen.

Der obere Malm (ε, ζ) schließlich enthält wieder geschichtete Kalke, von denen die Solnhofener Plattenkalke (Abb. 338) berühmt geworden sind, weil sie wegen ihres sehr feinen und dichten Korns zu Lithographiesteinen verwendet und in großen Brüchen abgebaut werden. Sie enthalten Fossilien, die in wunderbarer Erhaltung nicht nur den Bau der Schalen und Knochen, sondern auch mancher Weichteile zeigen. So haben zarte Quallen im Schlamm ihre Organe eingedrückt, Würmer, Seelilien und Schlangensterne wurden überliefert, Ammoniten, Belemniten, zahlreiche Insekten nebst ihren Larven, Krebse und Fische sind häufig, und besonders bemerkenswert sind die Skelette von Reptilien verschiedenster Art, so von dem kleinen Dinosaurier Compsognathus, von den Flugsauriern Pterodactylus und Rhamphorhynchus und von dem „Urvogel" Archaeopteryx lithographica, einem Tier mit bezahntem Kiefer und eidechsenartigem, aber zweizeilig befiedertem Schwanz und mit Flügeln (Abb. 337).

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 336. Schwammkalke des Malm in der fränkischen Schweiz. Der weiße Jura bildet mit seinen hellen, harten Kalken weithin sichtbare Bastionen.

Der alpine Jura als Ablagerung des Tethysmeeres zeichnet sich durch seine reiche Ammonitenfauna aus, und zwar von Gattungen, die in Mitteleuropa fehlen. Neben den Ammoniten- und Crinoidenkalken kommen Schiefer und Mergel in weiter Verbreitung vor.

Der russische Jura schließlich unterscheidet sich von den anderen Provinzen durch das Fehlen der Korallenriffe und der Tethys-Ammoniten; dies weist mit unfehlbarer Sicherheit auf ein kälteres Klima in der nördlichen Region hin.

Die Flora der Juraformation entspricht noch durchaus derjenigen des Rhäts; sie setzt sich aus Schachtelhalmen, Farnen, Cycadophyten und Nadelhölzern zusammen; Lepidophyten und andere paläozoische Typen sind schon gänzlich ausgestorben.

Die Fauna scheint in den jurassischen Meeren ganz vortreffliche Daseinsbedingungen gefunden zu haben, denn sie entwickelt sich zu einer außerordentlich großen Daseinsfülle. Von den niederen Tieren sind es vor allem die Schwämme und die Korallen, die ja im oberen Jura, wie schon angedeutet, gesteinsbildend auftreten. (Korallen von Nattheim, Schwämme bei Streitberg in der Fränkischen Schweiz.) Von den Stachelhäutern sind wieder die Seelilien bemerkenswert, deren Gattungen Apiocrinus und Pentacrinus recht häufig sind (Abb. 333). In den Liasschiefern finden sich vortrefflich erhaltene Exemplare mit bis 17 m langen Stielen, die bisweilen an Treibholz angewachsen waren und im Wasser umhertrieben. Ihre Verwandten, die Seeigel, fangen aber bereits an, ihnen den Rang abzulaufen. Die regulären (fünfstrahligen) wie die irregulären, zweiseitig symmetrischen Seeigel sind seit der Liaszeit ausgebildet und führen ihren Typus unverändert bis zur Gegenwart durch.

Abb. 337. Archaeopteryx lithographica (Berliner Exemplar).

Die Brachiopoden verlieren während der Jurazeit erneut an Boden, von Bedeutung sind eigentlich nur noch die beiden Dauerformen Terebratula und Rhynchonella, und von den paläozoischen Formen treffen wir lediglich Spiriferina an. Dafür nehmen die Muscheln und Schnecken an Arten zu. Häufige Gattungen sind: Lima (Feilenmuschel), Pecten (Kammuschel), Ostrea (Auster), Aucella und Trigonia, von Schnecken: Pleurotomaria.

Die wichtigsten und häufigsten Mollusken der Juraschichten sind indessen die Cephalopoden, vor allem die Ammoniten, die jetzt auch in den mitteleuropäischen Meeren wirklich heimisch werden und hier weite Wanderungen unternehmen. Waren die Lebensbedingungen günstig, so entstanden zahlreiche Abarten und Varietäten, die sehr wichtige Leitfossilien darstellen. Die wichtigsten Ammonitengattungen sind im Lias Harpoceras, Schlotheimia, Aegoceras, Amaltheus, Arietites, im Dogger Harpoceras, Stephanoceras, Macrocephalites, Cosmoceras, Parkinsonia, im Malm

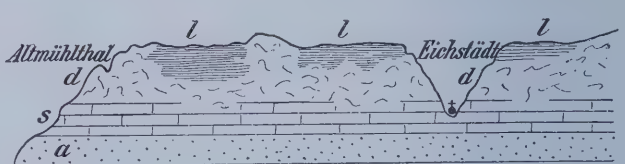


Abb. 338. Die lithographischen Kalke von Solnhofen (*l*) lagern zwischen Korallenkalken (*d*). Darunter folgen Treuchtlinger Marmor, ein geschichteter Kalk (*s*), und Kalkmergel (*a*). (Nach Walther.)

Perisphinctes, Oppelia, Aspidoceras. Die Gattungen Phylloceras und Lytoceras sind nicht auf einzelne Schichten beschränkt, sondern finden sich beinahe in sämtlichen Schichten der Juraformation.

Neben den Ammoniten treten in großer Menge die Belemniten oder Donnerkeile auf, die das versteinerte Hinterende von Tintenfischen darstellen. Belemnites giganteus wird bis 1 m lang, das zugehörige Tier muß drei Meter gemessen haben.

Auch die Fische bevölkerten in großer Anzahl die jurassischen Meere; in der Mehrzahl waren es Haie, Rochen und Ganoiden, während Knochenfische noch zurücktreten. In manchen Schichten haben sich die Fische so angehäuft, daß man aus ihrem Bitumen Öl und Ichthyol gewinnt. Dies gilt namentlich für gewisse dunkle Schiefer, die sich in Meeresbuchten absetzten; in ihnen finden wir auch die berühmten Ichthyosaurier, schwimmende Reptilien, die eine Länge von 12 m erreichten. Mit ihnen vergesellschaftet treffen wir die seltsam geformten Plesiosaurier und einige Krokodile an. Über das Festland flatterten die eigentümlichen Flugechsen (Pterosaurier) und der Urvogel Archaeopteryx (Abb. 337).

Nur zwei Exemplare dieses entwicklungsgeschichtlich so wichtigen Tiertypus hat man bisher im lithographischen Schiefer von Solnhofen gefunden. Dieser sehr feinkörnige Kalk bildete sich in einer Lagune, die nahe dem Festland lag, so daß es verständlich wird, daß neben den Meerestieren auch zahlreiche Insekten, vor allem Libellen, die sich aufs Wasser verirrt hatten, im Schlamm eingebettet wurden. Über 100 Arten der verschiedensten Insektengattungen sind aus dem lithographischen Schiefer beschrieben worden (Tafel XXVI).

Auf dem Festland selbst hat man — in England — schließlich auch Reste von Säugetieren gefunden, die zwar durchaus primitive Merkmale zeigen, aber immerhin schon einen Entwicklungsfortschritt gegenüber den Triasformen bedeuten.

C. Die Kreideformation.

Der Name dieser jüngsten mesozoischen Formation leitet sich von dem Kreidegestein her, das in gewissen Abteilungen in großer Mächtigkeit auftritt. Schon vor 100 Jahren hat man in England die Kreideformation gegliedert und neben der eigentlichen Kreide (Chalk) den Grünsand, das Gault und das Wealden unterschieden. In Deutschland erkannte man den Quadersandstein, den Pläner und den Hils neben dem Kreidegestein als kretazeische (lat. creta die Kreide) Bildungen. Die Faziesunterschiede sind in der Kreideformation sehr bedeutend und erschweren die genaue Gliederung und die Vergleichung verschiedener Vorkommen.

Ein großer Gegensatz besteht zwischen der nördlichen (borealen) und der südlichen (mediterranen) Provinz der Kreideformation. In der borealen Kreideprovinz, die sich über Rußland, Skandinavien, Dänemark, Deutschland, Nordfrankreich, England und Nordamerika erstreckt, sind die Gesteine durch gewisse Ammoniten und Belemniten ausgezeichnet, sowie durch die dickschaligen Muscheln der Gattung Inoceramus. Die mittelländische Provinz, welche Südeuropa, die Alpen und einen Teil der Karpathen, ferner das südliche Nordamerika und die Westindischen Inseln umfaßt, enthält in ihren Schichten die seltsamen, festgewachsenen Muscheln der Gattungen Diceras und Requienia, ferner die uns aus

dem Juraozean bereits bekannten Ammoniten Lytoceras und Phylloceras, sowie riffbildende Korallen. Wie zur Jurazeit muß man auf Grund dieser faunistischen Unterschiede scharfe klimatische Zonen annehmen. Diese schlossen aber nicht aus, daß beide Gebiete zeitweise ineinander übergingen, denn beispielsweise in den ostalpinen Gosauschichten finden sich nordische einträchtig neben mediterranen Muscheln, und an einigen Stellen beweisen kleine Kohlenflöze sogar eine zeitweilige Verlandung mancher Buchten des Ozeans.

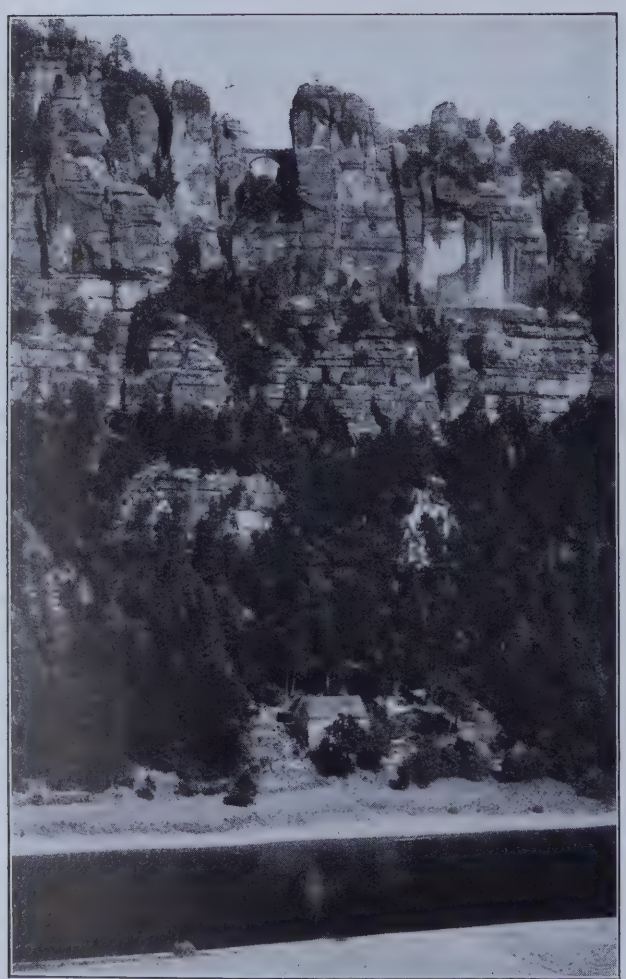


Abb. 339. Die Kreidesandsteine der Sächsischen Schweiz. Blick von der Elbe auf die Bastei.

Das wichtigste geologische Ereignis der ganzen Kreideformation ist zweifellos die gewaltige Meeresüberschwemmung um die Mitte der Formation gewesen. Diese sogenannte zenomane Transgression, der schon einige unbedeutende Meeresvorstöße vorausgegangen waren, überflutete weltweit die Kontinente, so daß die Meeresablagerungen der oberen Kreideformation viel weiter verbreitet sind als diejenigen der jüngeren. Selbst Gebiete, die seit dem Altertum der Erdgeschichte landfest gewesen waren, fielen den eindringenden Wogen zum Opfer. Einen langen Zeitraum hindurch dauerte diese Meeresbedeckung, dann tauchte allmählich ein großer Bezirk des überschwemmten Landes wieder aus den Fluten empor, um allerdings gegen das Ende der Formation erneut teilweise vom Meer erobert zu werden. Die Überflutungen gingen von dem zentralen Mittelmeer, von der Tethys, aus, die — wie zur Jurazeit — von Amerika bis zum Pazifik reichte, begrenzt von einem Nord- und einem Südkontinent. Doch bereitet sich insofern langsam eine wichtige geographische Änderung vor, als die Tethys in den Südkontinent auf seiner westlichen Seite eine Bresche schlägt. Sowohl an der brasilianischen wie an der westafrikanischen Küste finden sich

Ablagerungen eines Kreidemeeres, ein Zeichen dafür, daß nunmehr die Bildung des südlichen Teiles des Atlantiks stattgefunden haben muß (Abb. 340).

Die deutliche Gliederung der Kreideformation in zwei Abteilungen nötigt uns zu einer getrennten Darstellung, wobei naturgemäß das Hauptgewicht auf die in Deutschland vorhandene Entwicklung gelegt werden wird.

a) Die untere Kreide in Nord- und Mitteleuropa.

Marine Schichten der unteren Kreide treffen wir im Norden des Harzes, im Gebiet von Braunschweig und Hannover, im Deister- und Wesergebirge, sowie im Teutoburger Wald an. Ein weitaus größeres Gebiet umfaßt Nordfrankreich und

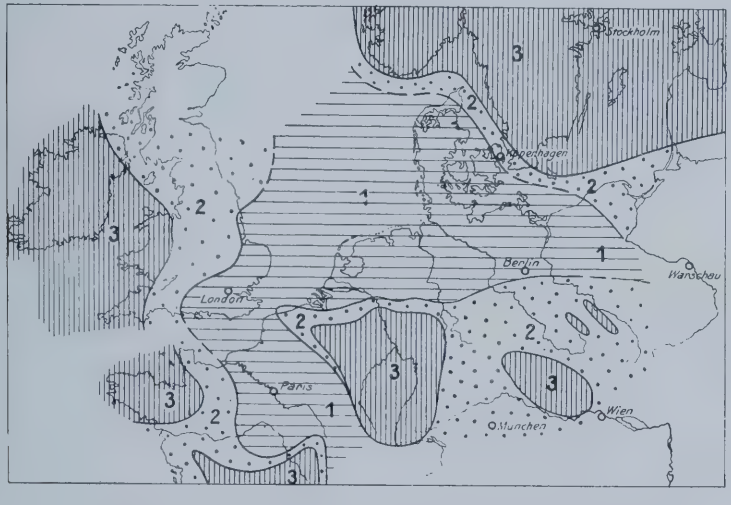


Abb. 340. Transgression des zenomanen Meeres.
1 ungefähre Ausbreitung des Meeres zu Beginn des Zenomans.
2 Gebiet, das im Laufe des Zenomans vom Meere überflutet wurde.
3 ungefähre Begrenzung des Festlandes am Ende des Zenomans.

Südengland; in Südengland und in Deutschland findet sich daneben noch die Süßwasserbildung des Wealden oder der Wälderтone.

Der Wealden besteht in England aus Tonen, Sanden und Sandsteinen mit kleinen Kohlenflözen und setzt sich von dort über Nordfrankreich und Südbelgien nach Nordwestdeutschland fort, wo er im Teutoburger Wald, im Deistergebirge (Deistersandstein), bei Hannover und bis nach Braunschweig zutage tritt, während er durch Bohrungen in der norddeutschen Tiefebene bis nach Thorn nachgewiesen worden ist. Die Kohlenlager sprechen für ausgedehnte Sumpfwaldungen, die von Farnen, Zykadeen und Gymnospermen gebildet wurden, und zwar von Formen, welche denen der Jurazeit noch durchaus gleichen. Wealdenkohle wird bei Obernkirchen abgebaut. In Tümpeln und Seen lebten Süßwassermuscheln, wie Paludina, Cyclas, Cyrena und in riesenhaften Mengen winzige Muschelkrebse der Gattung Cypridea. Von Wirbeltieren kamen in den Waldsümpfen Fische, Schildkröten, Krokodile und als besonders charakteristische Formen 5 m hohe und

12 m lange Dinosaurier (Iguanodon und Megalosaurus) vor. Die Wälder wurden nun vom Meere überspült, und es entstanden als erste der marinen Ablagerungen des Neokoms in Deutschland jene Bildungen, die man zusammenfassend als Hils bezeichnet. Das Land wurde vom Meere aufgearbeitet, Gerölle bildeten zu unterst das Hilskonglomerat, über dem Hilstone und Hilssandsteine mit Ammoniten, Belemniten und Austern zur Ablagerung kamen. Zur gleichen Zeit wurden in Frankreich und in den Alpen verschiedene Schiefer und Kalke abgesetzt.

Der Gault ist die jüngste Abteilung der unteren Kreide; er setzt sich aus Tonen und Mergeln mit zahlreichen Fossilien zusammen, von denen besonders schöne Ammoniten mit wohlerhaltener, perlmutterglänzender Schale bei Dover gefunden werden. In Deutschland treffen wir auf Gaulttone bei Hannover, Braunschweig und im nördlichen Vorland des Harzes.

b) Die untere Kreide in Südeuropa.

Den faunistischen Unterschied der mediterranen Kreide zu der borealen hatten wir bereits erwähnt. Petrographisch ist die südliche Kreide durch gewaltige Kalkriffe ausgezeichnet, die, hauptsächlich von Requienia-Muscheln aufgebaut, im Dauphiné auftreten. Ihnen entsprechen im östlichen und südlichen Teil der Alpen mächtige harte Schrattenkalke, die zum Teil ganz mit den Schalen der Foraminiferengattung Orbitolina erfüllt sind. Auch ein Teil der später zu besprechenden, von der Schweiz bis Wien reichenden sandigen Flyschzone gehört schon der unteren Kreide an.

c) Die obere Kreide in Nord- und Mitteleuropa.

Obere Kreideschichten sind in Deutschland weitverbreitet. Wir finden sie bei Aachen und Maastricht, in Nordwestdeutschland, im Gebiet der Ostsee, wie auf Rügen, in Pommern, Mecklenburg, Holstein, bei Lüneburg, im Untergrund von West- und Ostpreußen, im sächsisch-böhmischen Gebiet (Elbsandsteingebirge, südwestlicher Böhmerwald) und in Oberschlesien bei Oppeln und Leobschütz.

Das letztere und das preußische Kreidegebiet geht nach Polen über, während das norddeutsche in weitaus größerer Ausdehnung in Dänemark und Südschweden zutage tritt. Man gliedert die obere Kreide in Zenoman (lat. Cenomanum, das heutige Le Mans), Turon (franz. Landschaft Touraine), Emscher, Senon (Seno im Dep. Yonne).

Das Zenoman ist die Zeit der großen Kreidetransgression, es beginnt deshalb mit Konglomeraten als der typischen Strandbildung, darauf folgen helle, dünngeschichtete Kalke, die sogenannten Pläner (verderbt aus „Plauener"), Sande und Mergel, in denen Ammoniten, Seeigel und Muscheln (Ostrea, Pecten) häufig sind. Als Leitformen seien die Ammoniten Acanthoceras und Schloenbachia genannt.

Das Turon setzt sich aus hellen Mergeln und Kalken zusammen, in denen neben den schönen Seeigeln Echinoconus und Micraster vor allem die hartschaligen Inoceramus-Muscheln häufig sind (Abb. 343).

Auch der Emscher besteht aus Mergeln und Kalken, die in Westfalen bis 500 m mächtig werden und nach dem Belemniten Actinocamax westfalicus, auch Westfalicus-Schichten genannt werden. Weit wichtiger ist indessen die oberste Abteilung der oberen Kreide,

das Senon, eine sehr mächtige und wechselnd zusammengesetzte Schichtenfolge, an der nun auch das eigentliche Kreidegestein einen starken Anteil nimmt.

Abb. 341.

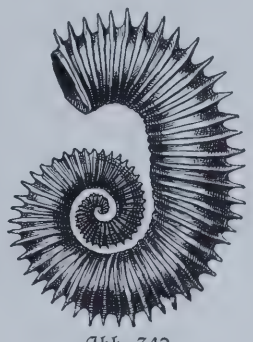


Abb. 342.

Abb. 343.

Abb. 344.

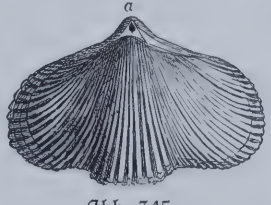


Abb. 345.

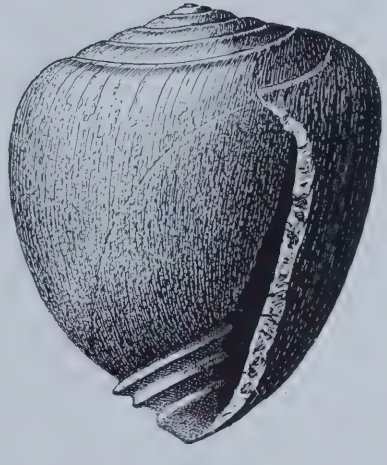


Abb. 346.

Abb. 341. Turrilites catenatus.
Abb. 342. Ancyloceras Puzorianum, aufgerollter Ammonit.
Abb. 343. Inoceramus Crispi.
Abb. 344. Biradiolites cornupastoris, eine unsymmetrische Muschel.
Abb. 345. Rhynchonella vespertilio.
Abb. 346. Actaeonella gigantea, eine dickschalige Schnecke.

Abb. 341—346. Versteinerungen aus der Kreideformation.

Nach den leitenden Versteinerungen gliedert man das Senon in die untere Quadratenkreide mit dem Belemniten Actinocamax quadratus und in die Mukronatenschichten mit Belemnitella mucronata. Andere häufige Fossilien sind die Auster Gryphaea vesicularis, der Seeigel Ananchytes ovata und das Brachiopod Terebratula carnea. Bereits mit dem Zenoman beginnt die bis ins Senon reichende böhmisch-sächsische Kreideentwicklung, die durch den Quadersandstein ausgezeichnet ist. Die bizarren Formen dieses sich in Quadern auflösenden vorzüglichen Bausandsteins geben der sächsischen und böhmischen Schweiz ihr besonderes, eigen-

Abb. 347. Die „Barbarine" am Pfaffenstein in der Sächsischen Schweiz. Die Besteigung dieses Quadersandsteinfelsens ist eine berühmte Klettertour.

artiges Gepräge; die Klüftung ruft steile Felsen und Wände hervor, die dem Kletterer schwere Aufgaben stellen. Quadersandsteine finden sich auch im nördlichen Harzvorland. Der Regenstein bei Blankenburg und die sagenumwobene, von Blankenburg bis Ballenstedt verlaufende Teufelsmauer mit ihren über der Umgebung hoch emporragenden Felsen bestehen aus Quadersandstein.

Dieser Fazies steht nun das baltische Gebiet mit seinen Kreidefelsen gegenüber, wie sie sich auf Rügen, aber auch auf Usedom und Wollin, sowie in Brüchen bei Lüneburg finden. Diese Schichten bilden nun die Ausläufer der großen baltischen Kreidezone, die sich über Dänemark, Nordfrankreich, Südengland und Irland erstreckt. Durch Verwerfungen und Eisschub während der Eiszeit in zahlreiche Schollen zerlegt und mit dem Lehm der Eiszeit wirr durcheinandergeworfen, stellen die weißleuchtenden Kreidefelsen an der Rügener Ostküste zwischen Saßnitz und Stubbenkammer ein ebenso seltsames wie anziehendes Landschaftsbild dar. Durch Schlämmen der Schreibkreide gewinnt man zahlreiche Foraminiferen, die zum größten Teil das Gestein zusammensetzen. Die Kreide muß sich in verhältnismäßig flachem Wasser abgesetzt haben, denn die in ihr so häufigen dickschaligen Gryphaeen sind typische Flachseebewohner. Neben ihnen sind zahlreiche andere Fossilien in dem weichen Gestein eingebettet, so Seeigel, Muscheln, Brachiopoden und vor allem Belemnitellen, die man in Massen zum

Beispiel von dem Blockstrand der Rügener Halbinsel Jasmund auflesen kann. Auch die zahllosen Feuersteine, die schichtenweise dem Kreidegestein eingelagert sind, entstammen kieselsäurehaltigen Tiergerüsten von Kieselschwämmen, Kieselalgen oder Radiolarien. Die Kreide wird auf Rügen in zahlreichen Brüchen abgebaut und zu Schlämmkreide verarbeitet (Abb. 349).

Über dieser dem Senon angehörenden Schreibkreide folgt in Dänemark noch das Danien mit reichem Fossilbestand. Auch hier sind Seeigel häufig, aber — und das ist bemerkenswert — die echten Ammoniten und Belemniten scheinen ausgestorben zu sein. Ein großes Sterben hat allgemein unter der Tierwelt eingesetzt; die Herrschaft der Saurier und der übrigen mesozoischen Lebewesen geht zu Ende, neue Formen tauchen auf und künden die Neuzeit der Erdgeschichte an.

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 348. Die quaderförmige Zerklüftung der Kreidesandsteine in der Sächsischen Schweiz (unweit der Schrammsteinbaude).

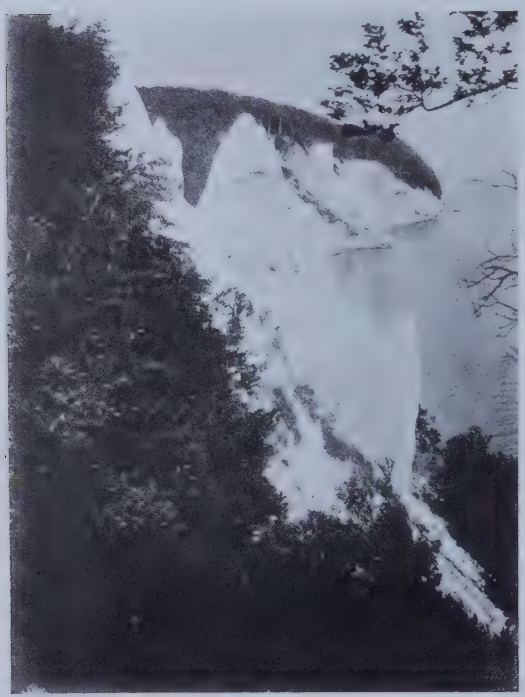
d) Die obere Kreide in Südeuropa.

Die Schichten der mediterranen Kreide bestehen aus Flachmeersedimenten, in denen vor allem die gewaltigen dickschaligen Rudisten vorherrschen, die ganze Stöcke gebildet haben müssen. Wichtige Leitformen sind Hippurites, Requienia und Caprina sowie einige seltsame Ammoniten. Auch die schon erwähnte Flyschfazies am Alpenrand finden wir in der Oberkreide stark entwickelt.

Kreideschichten finden sich außer in Europa auch in allen übrigen Erdteilen, zum Teil in ganz ähnlicher Ausbildung wie bei uns, so daß Vergleiche möglich sind, zum Teil aber auch in durchaus abweichender petrographischer Beschaffenheit. Aus den Kreideschichten Amerikas sind zahlreiche Skelette riesenhafter Saurier bekannt geworden, die entwicklungsgeschichtlich hochbedeutsam sind (in den sog. Atlantosaurus-Beds im östlichen Felsengebirge). Über den Fossilinhalt der Kreidezeit seien noch ein paar Worte zur Vervollständigung des Bildes angefügt.

Über die Flora hatten wir schon einiges gesagt; die Laubhölzer fehlen zunächst noch gänzlich, erscheinen aber dann in Massen und bilden während der oberen Kreidezeit ausgedehnte Waldungen. Baumarten, die heute noch weit verbreitet sind, spendeten schon damals Schatten: Eiche, Lorbeer, Ahorn, Feige und Magnolie grünten nebeneinander als Zeichen für ein gegenüber dem heutigen wärmeres Klima.

Von niederen Tieren sind zunächst die Foraminiferen bemerkenswert, deren zahlreiche Arten sowohl große Kalkmassen in den Südalpen als auch die Schreibkreide der baltischen Fazies zusammensetzen. Ebenso tragen die Schwämme zur Gesteinsbildung bei, Kalk- und Kieselschwämme sind in zahlreichen Arten vertreten, vor allem ist die Gattung Coeloptychium häufig. Während die Korallen mehr zurücktreten, nehmen die irregulären, also zweiseitig symmetrischen Seeigel (Toxaster, Micraster, Echinocorys) an Artenzahl zu. Die Brachiopoden beschränken sich wie im Jura hauptsächlich auf die Gattungen Terebratula und Rhynchonella; sie treten hinter den Muscheln völlig zurück. Von diesen sind im mitteleuropäischen Flachmeer die hartschaligen Austern (Exogyra) und Inoceramus-Arten wichtige Leitfossilien, während im mediterranen Gebiet die unsymmetrischen Rudisten große Kolonien gebildet haben müssen, indem sie wie Palisaden die Küste umsäumten.



Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 349. Kreideschichten des Senons auf Rügen. Die Wissower Klinten zwischen Saßnitz und Stubbenkammer.

Auch die Ammoniten zeigen, wie die Muscheln, seltsame Umwandlungen. Es entstehen jetzt sogenannte Nebenformen, bei denen die Schale nicht mehr in einer Ebene aufgerollt ist, sondern sich auflöst und stabförmig oder schneckenförmig wird. Da die Ammoniten mit dem Ende der Kreidezeit aussterben, hat man diese Formen als Altersanomalien angesehen: die Tierklasse versucht gleichsam noch einmal, neue Wege der Entwicklung einzuschlagen, um dem drohenden Untergang zu entgehen.

Auch die Belemniten, jünger als die Ammoniten, sterben am Ende der Kreidezeit fast gänzlich aus; nur wenige Arten retten sich in die erdgeschichtliche Neuzeit hinein.

Ein wesentlicher Wandel vollzieht sich auch in der Fischfauna. Die Schmelzschupper verschwinden allmählich aus dem Ozean, und an ihre Stelle treten mehr und mehr die Knochenfische. Das Sauriergeschlecht blüht indessen noch weiter; riesige Ichthyosaurier und Plesiosaurier durchfurchen den Kreideozean, über dessen

Phot. Wehrli A.-G., Zürich.

Abb. 350. Steilgestellte Schichten der alpinen Kreide.
Der Gipfel des Altmanns in der Säntisgruppe.

Wellen als letzter Flugsaurier der Pteranodon (Abb. 351) schwebt. Krokodile und Schildkröten beleben die Meere, und gigantische Dinosaurier hat man in Ostafrika und Amerika ausgegraben. Aber auch das Riesenmaß dieser Kriechtiere scheint eine Alterserscheinung der Gruppe zu sein, denn von all den Formen vermag keine einzige die Schwelle der Neuzeit zu übertreten.

Die Vögel haben sich ebenfalls weiter entwickelt, wenn sie auch noch hinsichtlich ihrer Bezahnung deutliche Reptilmerkmale aufweisen. Große Formen sind aus den Kreideschichten Nordamerikas bekannt geworden, und Amerika liefert uns auch Zeugen dafür, daß die Klasse der Säugetiere, wenn auch noch mit kleinen Vertretern, rüstig in der Entwicklung fortschreitet und um die Wende der Zeitalter bereits eine beträchtliche Lebenskraft entfaltet.

V. Die neozoische Formationsgruppe.

(Die Neuzeit der Erdgeschichte.)

Scharf scheiden sich die Schichten der geologischen Neuzeit von den vorausgegangenen älteren. Das große Sterben am Ende der Kreidezeit hat in der Fauna gehörig aufgeräumt; die Tierwelt zeigt ein gänzlich verändertes Gesicht. Die extravaganten Formen unter den Muscheln, die sich während der Kreidezeit herausgebildet hatten, suchen wir vergebens, die Geschlechter der Ammoniten und Belemniten sind aus dem Buche des Lebens ausgetilgt, und die Riesenformen der Saurier sind vom Erdboden verschwunden. Was von altertümlichen Formen übrig blieb, vegetiert nur noch kümmerlich dahin, so die Seelilien und Brachiopoden, und andere Klassen breiten sich machtvoll aus: Schnecken und Muscheln, sechsstrahlige Korallen, höhere Krebse und Knochenfische im Wasser, Schlangen, Vögel und Säuger auf dem Lande. Das Neozoikum ist die Periode der Säugetiere, die, in ungeahnter Formenfülle aufblühend, die Erde mehr und mehr beherrschen und als letzten Zweig das Menschengeschlecht entstehen lassen.

Aber auch petrographisch macht sich ein Wandel geltend. Die zahllosen Gesteine verschiedenster Ausbildung, wie Kalke, Tone, Sande, zeigen nicht mehr die starke Verfestigung, die ein Zeichen hohen geologischen Alters ist, sie werden um so lockerer, je jünger sie sind, und so mündet allmählich die geologische Vergangenheit in die Vorgeschichte und in die Gegenwart ein, ohne daß sich trennende Schranken bemerkbar machen. Nach einer alten Anschauung, die die gesamten Erdschichten in vier Abteilungen einzuteilen versuchte, gliedert man das Neozoikum in die beiden Formationen Tertiär (d. h. das Dritte) und Quartär (d. h. das Vierte).

A. Die Tertiärformation.

Die Schichten des Tertiärs, das zuerst im Pariser Becken untersucht wurde, zeigen einen vielfachen Wechsel zwischen Süßwasser- und Meeressedimenten, woraus man auf sehr starke Niveauschwankungen schließen muß, die das feste Land bisweilen in Meeresboden und dann wieder in eine Kontinentaloberfläche verwandelten. Das wird auch erwiesen durch die Bildung gewaltiger Kettengebirge, die sich in Europa, Asien und rings um den Pazifik auftürmten. Alpen, Atlas, Kaukasus, Himalaja und die anderen asiatischen Hochgebirge wurden während des Tertiärs aufgefaltet, und ebenso erhob sich ein den Pazifischen Ozean umgebendes Randgebirge. Und wie sich im Anschluß an die Auffaltung der karbonischen Alpen einst die Steinkohlen gebildet hatten, so entstanden während der Tertiärzeit die zahlreichen Braunkohlenlager, deren Bedeutung für Deutschland so außerordentlich groß ist.

Die Gesteine des Tertiärs sind sehr wechselnd: harte Kalke, sogenannte Grobkalke, wechseln mit festen Konglomeraten (Nagelfluh der Alpen), Sandsteine und Schiefer mit losen Sanden, Schottern und Tonen. Nutzbare Mineralien sind häufig. Was das Klima anbelangt, so läßt sich aus den erhaltenen Floren und Faunen die Herausbildung von Klimazonen mit Sicherheit ableiten. Das warme Klima kühlte sich im Verlaufe der Formation allmählich ab: Palmen, die im ältesten Tertiär in unseren Breiten große Waldungen bildeten, Magnolien und Platanen,

Das Tierleben im Muschelkalkmeer (n. Walther, Geschichte der Erde und des Lebens).

Abb. 351. Pteranodon über den Fluten des Kreidemeeres. (Nach Walther.)

die in Grönland und Spitzbergen ihre Blüten trieben, sie ziehen sich im Verlaufe des Tertiärs mehr und mehr in wärmere Zonen zurück. Gegen Ende des Tertiärs dürfte ein dem heutigen ähnliches Klima geherrscht haben.

Wie sah aber Europa zu jener Zeit aus? Unser Erdteil war durch zahlreiche Buchten und Binnenmeere reich gegliedert. Solche Becken befanden sich im westlichen Europa, in der weiteren Umgebung von Paris und London, in Süddeutschland, bei Wien, in Oberitalien, doch wechselten sie ständig, da Verbindungsstraßen zwischen ihnen sich zeitweise öffneten oder schlossen und Hebungen und Senkungen die Strandlinien ständig verschoben. Meeresbecken oder Süßwasserseen wurden dadurch trockengelegt und benachbarte Tiefländer überschwemmt. Damit lassen sich der große Fazieswechsel und die geringe horizontale Verbreitung der tertiären Gesteine unschwer erklären.

Hinsichtlich der übrigen Erdoberfläche gilt im großen ganzen, daß das sich vom Atlantik über Südasien bis zum malaiischen Archipel ausbreitende Tethysmeer wenigstens während des Alttertiärs noch bestand. Alte Welt und neue Welt hingen noch in breiter Front zusammen, Asien und Afrika waren wie Asien und Australien durch eine Brücke verbunden, aber der mesozoische Südkontinent im Pazifischen Ozean war anscheinend schon versunken. Dafür vollzog sich die Verknüpfung von Nord- und Südamerika, die allerdings zeitweise wieder verloren ging, schließlich aber doch das Bild der neuen Welt schon in großen Zügen schuf.

Das Tertiär wird in zwei Hauptabteilungen, in das Alttertiär oder Paläogen und in das Neutertiär oder Neogen gegliedert, die schließlich wieder in weitere Abteilungen zerfallen. In schnellem Fluge sollen die einzelnen Formationsglieder jetzt durcheilt werden.

a) Das Alttertiär (Paläogen).

1. Paleocän.

Die Schichten des unteren Alttertiärs sind am besten in den Becken von Paris und London entwickelt, die zu jener Zeit vom Meere bedeckt wurden,

während das außeralpine Deutschland festes Land war. Mit den marinen Ablagerungen wechseln im französisch-englischen Becken mitunter brackische und limnische, so daß wir starke Erdschwankungen annehmen müssen, durch welche die Becken mitunter vom Weltmeer abgetrennt wurden.

Außer in den genannten Teilen ist das paleocäne Meer auch in Dänemark und im ganzen Ostseegebiet bis nach Rußland hinein zu verfolgen; in Deutschland hat man paleocäne Schichten in Holstein und bei Berlin erbohrt.

Neben dieser nördlichen Entwicklung ist die dem Tethysgebiet angehörende Südprovinz bemerkenswert, deren Sedimente das Mittelmeergebiet beherrschen und von Nordafrika bis nach Hinterindien reichen. Schließlich stellen gewisse Braunkohlen führende Schichten Grönlands und Spitzbergens ebenfalls paleocäne Bildungen dar; ihre Flora läßt auf ein viel wärmeres Klima schließen, als es jetzt in jenen Breiten herrscht.

2. Eocän.

Die Gliederung in eine Nord- und eine Südprovinz, die uns nun schon seit langem geläufig ist, setzt sich auch in dieser Tertiärabteilung fort, ja, das Tethysmeer macht sogar noch einen gewaltigen Vorstoß in den südlichen (afrikanischen) Kontinent hinein. Das Klima wird noch heißer als in der verflossenen Zeit: Palmen der verschiedensten Art bilden in Deutschland weite Waldungen, und gewisse Tierformen, so die markstückgroßen Nummuliten, bauen mit ihren Schalen mächtige Gesteine auf. Auch die Säugetiere haben sich weiter entwickelt: die ersten Raubtiere und Huftiere sind auf den Plan getreten.

Besonders gut ist das Eocän im Pariser Becken entwickelt, wo sich neben Sanden und Tonen, deren Entstehung auf brackisches und süßes Wasser zurückgeht, als typische Meeresbildung die mächtigen Grobkalke bilden, ein festes Gestein, das den Hauptbaustoff für die Paläste von Paris abgegeben hat. Zahlreiche schöne Fossilien sind in ihm enthalten, und zwar neben den Foraminiferen der Gattung Nummulites vor allem Muscheln (Corbis, Cardita) und Schnecken (Fusus, Cerithium). Eine ähnliche Fauna beherbergen die Schichten des Londoner Beckens, unter denen aber noch besonders der sogenannte London-Ton durch seine Mächtigkeit von 200 m auffällt. In Deutschland kommt Eocän anstehend nicht vor, doch finden sich aus dem Ostseegebiet stammende eocäne Geschiebe in der norddeutschen Tiefebene ziemlich häufig, und bei Bohrungen ist man auch auf im Untergrunde entstehendes eocänes Gestein gestoßen. Dem Eocän müssen ferner jene untergegangenen Wälder der Bernsteinfichte im Ostseegebiet zugerechnet werden, aus deren Harz der Bernstein erhärtete. Der Bernstein, der schon zu vorgeschichtlichen Zeiten als Schmuckstein eine Rolle spielte und zu dessen Gewinnung die Römer besondere Handelswege durch Deutschland bis zur Samlandküste anlegten, an der er jetzt in staatlichen Bergwerken gewonnen wird, findet sich an der Ostseeküste überall in verschwemmten Stücken. Im Samland lagert er in der dem Oligocän angehörenden blauen Erde, in die er hineingeschwemmt wurde. Paläontologisch ist die Bedeutung des Bernsteins ganz einzigartig, hat er doch, indem er Pflanzen und Tiere, vor allem Insekten, umfloß, deren Formen bis auf alle Einzelheiten getreu bewahrt, so daß wir über die Flora und Kleinfauna der eocänen Wälder sehr genau unterrichtet sind.

Das warme Klima rief einen gesteigerten Pflanzenwuchs hervor, und so kann es nicht wundernehmen, daß sich in Deutschland an verschiedenen Stellen Braunkohlenflöze bildeten. Diese finden sich bei Halle und Leipzig, wo man von der Bahn aus schnelle Einblicke in die weitläufigen Tagebaue nehmen kann, dann in der Gegend von Zeitz und bei Aschersleben am Harz.

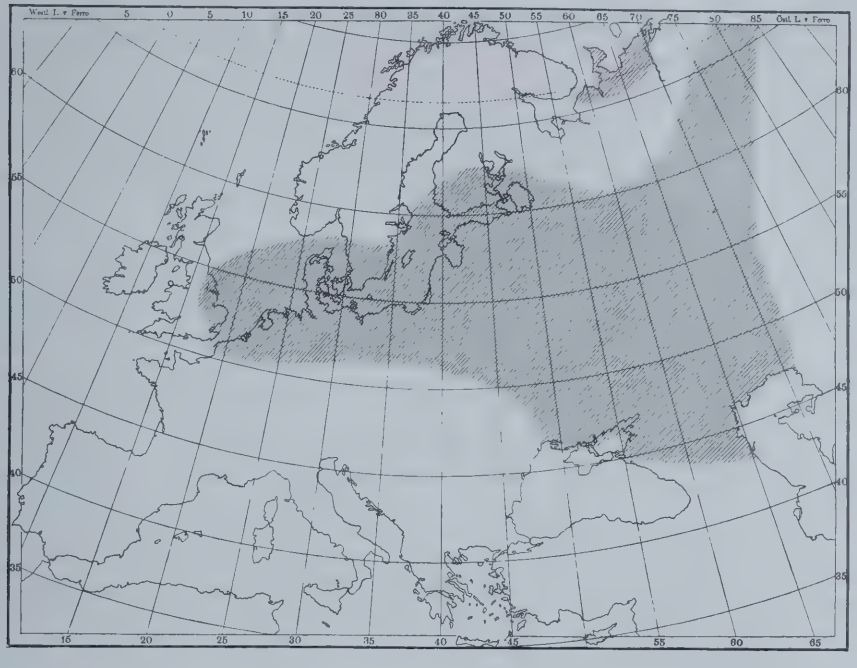


Abb. 352. Die jetzige Verbreitung des Bernsteins in Europa.

Haben wir in Mitteldeutschland festländische Ablagerungen des Eocäns, so kennen wir im Süden unseres Vaterlandes auch Süßwasserablagerungen, von denen vor allem die Bohnerze wichtig sind, Tone, in denen zahllose Körner von Brauneisenerz enthalten sind. Ganz anders sieht das Eocän in Südeuropa aus. Im Tethysmeer schwebten zu Millionen und Abermillionen die Nummuliten, und ihre scheibenförmigen Kalkschalen bildeten am Boden des Meeres mächtige Schichten. Im Karst, im Apennin und in den Karpathen setzen die Nummulitenkalke hohe Gebirgszüge zusammen, sie finden sich aber auch in Indien, Ägypten, Tunis, auf Sumatra und Java. In üppiger Fülle blühen die Nummuliten auf, um schnell, wie sie gekommen, wieder zu verschwinden: nur eine einzige Art lebt heute noch in warmen Meeren. Auch andere Foraminiferen beleben in Riesenmengen den südlichen Ozean, so daß man für diese Entwicklung ein besonders günstiges Klima verantwortlich machen muß, das diesen Einzellern gerade ein Lebensoptimum bescherte.

Die Nummulitenkalke enthalten auch die übrige reiche Organismenwelt des eocänen Meeres, schön skulptierte Muscheln und Schnecken, große Seeigel und Krabben. Die vorkommenden Korallen und Fische erweisen die hohe

Temperatur des Wassers; die Tethys war während des Alttertiärs ein typisches Tropenmeer.

Neben den Kalken haben als eocäne Sedimente auch jene weicheren Schiefer und Sandsteine eine große Bedeutung, die man zusammenfassend als Flysch (von „fließen") bezeichnet. Sie umrahmen im Norden die Schweizer Alpen und einen Teil des Algäu und finden sich in ganz analoger Ausbildung auch in den Seealpen, in den Karpathen und im Apennin.

3. Oligocän.

Während dieses Zeitabschnittes setzt auch in Norddeutschland die Überflutung durch das Meer ein. Von Westen her, aus dem englisch-französischen Becken strömt das Wasser über das Festland und bildet tiefe Buchten am Niederrhein, in Thüringen, Sachsen und Niederschlesien. Versteinerungsreiche Tone (Septarientone) mit vielen Pleurotoma-Arten werden in dem neuen Meere abgesetzt, darunter und darüber liegen Sande als Küstenbildungen. Solche Sande finden sich bei Stettin (Stettiner Sand) und im Samland; hier liegt an ihrer Basis die bernsteinführende Blaue Erde. Auch im Nordwesten unserer Heimat treten mächtige Sandsteine mit zahlreichen Fossilien auf, besonders der Doberg bei Bünde in Westfalen ist als Fundstätte schöner Versteinerungen berühmt geworden. Eine weite Bucht des oligocänen Meeres stellt das Gebiet in der weiteren Umgebung von Mainz dar. Hier lagerte sich zuerst als Flachseesediment der Alceyer Meeressand ab mit vielen Versteinerungen, unter denen harte Austern und Pectunculus-Arten vorherrschen und Haifischzähne nicht selten sind. Dann vertiefte sich allmählich das Meer, wie man aus dem Absatz des Septarientons schließen muß, um bald wieder als Strand aufzutauchen. Der sogenannte Cyrenenmergel, charakterisiert durch eine Überfülle von Muscheln (Cyrena semistriata) und Schnecken (Cerithium), ist eine Brackwasserbildung, die örtlich zum Teil sogar kleine Braunkohlenflöze aufweist, also zeitweilig landfest gewesen sein muß. Dann folgen typische Süßwasserablagerungen, die von neuen Meeresschichten (Cerithium-Schichten) abgelöst werden, ein Zeichen, daß ein erneuter Vorstoß des Meeres eingesetzt hatte.

Interessant ist auch die Fazies des Oligocäns in Süddeutschland. Im ganzen schweizerischen und schwäbisch-bayerischen Alpenvorlande liegt eine als Molasse bezeichnete mächtige Gesteinsfolge von Sanden, Mergeln und Konglomeraten, die in eine untere Meeresmolasse und eine obere brackische und limnische Molasse eingeteilt wird.

Von außerdeutschen oligocänen Vorkommen verdient das weite Wiener Becken mit seinen im Brackwasser gebildeten Cyrenenschichten Erwähnung und noch mehr das Pariser Becken, in dem sich der durch seine Säugetierfunde berühmte Gips vom Montmartre absetzte.

Die im Eozän vorherrschenden Nummuliten treten im Gebiet des Tethys schon wieder stark in den Hintergrund, dafür sind die Flyschsandsteine weit verbreitet, und zwar nicht nur im Alpengebiet, sondern auch im Apennin, in den Karpathen und auf der Balkanhalbinsel.

b) Das Jungtertiär (Neogen).

Das Jungtertiär wird eingeteilt in Miocän und Pliocän, von denen für Deutschland nur das erstere von größerer Bedeutung ist.

1. Miocän.

Nachdem schon während des ganzen Alttertiärs starke Bodenbewegungen stattgefunden hatten, setzte jetzt die grundlegende Auffaltung der tertiären Hochgebirge ein. Alpen, Karpathen, Pyrenäen, Apennin sowie die asiatischen Gebirge türmten sich in gigantischen Falten und Überschiebungen auf, und im Gefolge dieser Gebirgsbewegungen begann eine sehr starke eruptive Tätigkeit. Die alten Kontinente zerbrachen, und vielerorts drangen gewaltige Massen von Eruptivgesteinen, vor allem von Basalt, an die Erdoberfläche. An Verwerfungsspalten und Bruchlinien sanken große Festlandsteile ab, und alte Gebirgskerne der karbonischen Alpen, die widerstandsfähig genug waren, blieben erhalten und wurden, nachdem sie im Laufe der geologischen Vergangenheit völlig eingeebnet worden waren, erneut zu Gebirgen. So wurde das geographische Bild Deutschlands zu dieser Zeit in seinen wesentlichen Zügen gestaltet. Das Meer hatte sich größtenteils zurückgezogen, nur noch im Norden, in der Breite von Holstein und Mecklenburg, fluteten die Wellen. Auch Holland, Belgien und Nordfrankreich waren zu Festland geworden. Dafür hatte sich aber das Tethysmeer weiter ausgedehnt. Von ihm aus drang ein Meeresarm nordwärts in die Schweiz vor und flutete die Schweizer und bayerische Hochebene entlang gen Osten bis nach Wien. Und von hier aus bestanden Meeresstraßen nach Rußland, wo sich ein pannonisches Meer ausdehnte. Anderseits hatte sich als eine Landbrücke Oberägypten und Arabien gebildet und schloß die Tethys im Osten ab.

Auch die Küsten Amerikas bildeten sich jetzt schon in ihren Umrissen aus. Die Trennung zwischen Nord- und Südamerika nahm ihr Ende, die schmale Landverbindung von Mittelamerika blieb von nun an erhalten.

Das Klima hatte inzwischen eine weitere Abkühlung erfahren. Korallen, die außerordentlich empfindlich gegen Temperaturwechsel sind, finden sich im Miocän nur noch im Mittelmeergebiet als nördlichstem Vorkommen, und am Ende der Formation sind all jene tropischen und subtropischen Gewächse, die Palmen, Zypressen, Myrten, Magnolien, aus unserer Heimat verschwunden. Ein gleiches lehrt uns die Tierwelt. Sie ist durch das Auftreten neuer Säugetierordnungen gekennzeichnet, und zwar sind es Rüsseltiere (Dinotherium, Mastodon), Rhinoceros-Arten, dreizehige Vorfahren des Pferdes, Wiederkäuer und große Katzen (darunter der riesige Säbeltiger Machairodus). Miocäne Meeresbildungen finden sich vor allem in Holstein, wo fossilreiche Sande und Tone mit den Schnecken Pleurotoma und Fusus weit verbreitet sind. Ausgedehntere Miocänschichten lagerten sich in der Vorzone der Alpen ab und bildeten die sogenannte obere Meeresmolasse (im Gegensatz zur oligocänen unteren Meeresmolasse), deren Fossilien für eine lange Meeresbedeckung sprechen. Doch zog sich später das Wasser wieder zurück; es entstanden zunächst Brackwasserablagerungen, dann Süßwassersedimente. Im Ries bei Nördlingen befand sich ein See, an dessen schilfumwachsenem Ufer

Störche, Pelikane, Reiher und Enten nisteten, deren Knochen in den Süßwasserkalken erhalten geblieben sind. Ein anderer Süßwassersee lag bei Steinheim in Schwaben; sein Kalk ist berühmt durch die zahlreichen Skelette von Wirbeltieren und die nach Millionen zählenden Schalen der Schnecke Planorbis multiformis, die sich in dem abgeschlossenen Becken immer neuen äußeren Verhältnissen durch Umwandlung ihres Körpers und damit ihrer Schale anpassen mußte und ein Paradebeispiel für die Variationsmöglichkeiten einer Art geworden ist.

Das Steinheimer Becken, in das sich nach Walther eine Kalktherme ergoß, bildete die Tränke für zahlreiche Tiere. Neben Fischen, Reptilien und Vögeln treffen wir deshalb auch auf so zahlreiche Säugetierreste. Zwerghirsche, Urpferde, Wasserschweine, Nashörner und Dickhäuter kamen zum Wasser; ihnen lauerten im dichten Schilf Säbeltiger und Urbären auf.

Am Bodensee finden sich bei Öningen Süßwasserkalke, die uns tiefe Einblicke in die Pflanzen- und Insektenwelt der Miocänzeit gewähren. Brackisch und limnisch sind auch die miocänen Ablagerungen im Mainzer Becken, wo die Süßwasserkalke oft ganz mit Süßwasser- und Landschnecken erfüllt sind.

An vielen Stellen war die Flora sehr reich, so daß sich Braunkohlenflöze bilden konnten. Hierhin gehören die Braunkohlen der Rhön, deren Basalte ebenfalls miocänen Alters sind, des Westerwaldes, des Meißners, der Mark Brandenburg, Sachsens und Schlesiens.

Die allgemeine Aussüßung eines Meeresbeckens wie wir sie in Süddeutschland kennengelernt haben, läßt sich auch im Wiener Becken feststellen, das sich nach Polen und Galizien fortsetzte. In Galizien bildeten sich während der Austrocknung des Meeres Salzlager, die bei Wieliczka eine Mächtigkeit von 1000 m erreichen. Von weiteren außerdeutschen Miocänvorkommen sei nur noch das südfranzösische erwähnt, in dem fossilreiche Sande zur Ablagerung gelangten.

2. Pliocän.

Die Trockenlegung des Meeresbodens in Europa, die wir während der Miocänzeit verfolgen konnten, ging in der Pliocänzeit weiter, und zwar so weit, daß in Mitteleuropa nur noch der Süden Englands und Teile von Frankreich und Holland vom Wasser bedeckt blieben. Auch das südliche, im Wiener Becken befindliche Meer war bis auf einen ausgesüßten Binnensee verschwunden, der durch eine breite Bodenschwelle von dem Binnenmeer der Tethys getrennt war. Von England, das mit Nordfrankreich fest zusammenhing, führte eine Landverbindung über Island und Grönland nach Nordamerika: der Nordatlantik war also noch nicht ausgebildet.

Dementsprechend fehlt es in Deutschland an marinen Ablagerungen aus der Pliocänzeit, mit Ausnahme eines kleinen, von England herüberreichenden Vorkommens auf der Insel Sylt; festländische Ablagerungen sind dagegen weit verbreitet und geben uns wertvolle Aufschlüsse über die fortschreitende Entwicklung der Säugetierklasse und der Flora. Mehr und mehr tauchen unter den Tieren bekannte Formen auf, und die Pflanzenwelt deutet auf eine Klimaverteilung hin, die der heutigen ziemlich genau entspricht.

In den lockeren pliocänen Sanden Rheinhessens (bei Eppelsheim) finden sich häufig Skelette der Dickhäuter Dinotherium und Mastodon, daneben Vorfahren von Pferd und Rhinozeros, und die gleichen Tierformen können wir in alten

Abb. 353. Vegetationsbild aus dem Oligocän unserer Breiten. Rechts, bei *a* Rand eines Waldmoors mit Sumpfzypressen (Taxodium distichum) und Mammutbäumen (Sequoia Langsdorffii); bezeichnend ist der sich unten mächtig verbreiternde Stamm der Sumpfzypressen; vorn bei *b* Farne, Gräser usw. Links bei *c* Palmen mit Fieder- und Fächerblättern, dahinter bei *d* gemischter Laubwald. (Nach Gothan.)

Ablagerungen der Flüsse Thüringens und des Rheintales beobachten. Einen starken Pflanzenwuchs müssen wir aus den Braunkohlenbildungen entnehmen, wie sie am Niederrhein vorkommen. Weitere Pliocänvorkommen finden sich unter der Schuttdecke Norddeutschlands als Posener Ton und im Wiener Becken. Paläonto-

logisch wichtig ist das Pliocän von Pikermi bei Athen; hier hat man in roten Tonen eine sehr reiche Säugerfauna mit Antilopen, Giraffen, Affen, Schweinen und anderen heute in Afrika beheimateten Tieren sammeln können.

B. Die Quartärformation.

Als letzte der großen Formationsgruppen haben wir das Quartär zu behandeln, das in die beiden Formationen Diluvium und Alluvium gegliedert wird.

a) Das Diluvium.

Das Diluvium (auch Pleistocän genannt) ist jene Periode, in der sich die Ablagerungen der großen Eiszeit bildeten und in der das Kartenbild der Kontinente allmählich die uns heute geläufigen Formen erhielt.

Bereits während der Pliocänformation hatte sich das Klima, wie schon angedeutet war, allmählich geändert, wobei die Emporrichtung der Alpen sicherlich einen wesentlichen Anteil hatte. Auf diesen konnten sich ungeheuere Gletscher aus den auf sie niederfallenden Regen- und Schneemengen bilden. Begünstigt wurde diese Erscheinung durch eine allmähliche Abkühlung der Temperatur und eine starke Erhöhung der Niederschläge. Alle höheren Gebirge, vor allem aber die Gebiete im Norden Europas, überzogen sich deshalb allmählich mit einer ausgedehnten Schnee- und Eisdecke, wie wir sie im grönländischen Inlandeis heute vor uns haben. Diese Eisdecke wurde mit zunehmender Erniedrigung der Temperatur immer weiter nach Süden vorgeschoben und bedeckte schließlich ganz Nordamerika und das nördliche Europa, sowie Deutschland bis zu den Mittelgebirgen.

Aber auch während der Eiszeit hat es an klimatischen Schwankungen nicht gefehlt, die in Vorstößen und Rückzügen der Eisdecke ihren Ausdruck finden. Solche Eisschwankungen sind natürlich nur am südlichen Rand zu beobachten, während im Norden die Eisdecke wohl schmächtiger wurde, nicht aber gänzlich abtaute. Im südlichen Gebiete hat man daraufhin eigentliche Glazialzeiten von den eisfreien Interglazialzeiten unterschieden und hat in den Alpen vier Glazialzeiten und drei dazwischenliegende längere Interglazialzeiten festgestellt, während im norddeutschen Gebiet drei Eisvorstöße mit entsprechenden eisfreien Zwischenperioden konstatiert wurden (Abb. 354).

Wie wir schon früher bei der Behandlung der Gletscher gehört hatten, entstehen als Ablagerungen des bewegten Eises ungeschichtete Moränen. Solche Moränenzüge, aus Blöcken und Mergel bestehend, bildeten sich auch bei jedem Eisvorstoß im Rahmen des vom Eis überflossenen Gebietes. Außerhalb desselben setzten dagegen die Schmelzwässer geschichtetes Material ab, das wegen seiner Bildung aus Eis und fließendem Wasser als fluvioglazial bezeichnet wird. Solche geschichteten Bildungen entstanden auch während der eisfreien Zeiten, denn die Gletscherbäche räumten die Moränen auf und lagerten die Gesteinsbestandteile, nach der Größe geordnet, im Vorland wieder ab.

Im eisfreien Gebiet konnten sich Pflanzen und Tiere ansiedeln, deren Reste man in den geschichteten Sedimenten findet. Während die Flora und Fauna der

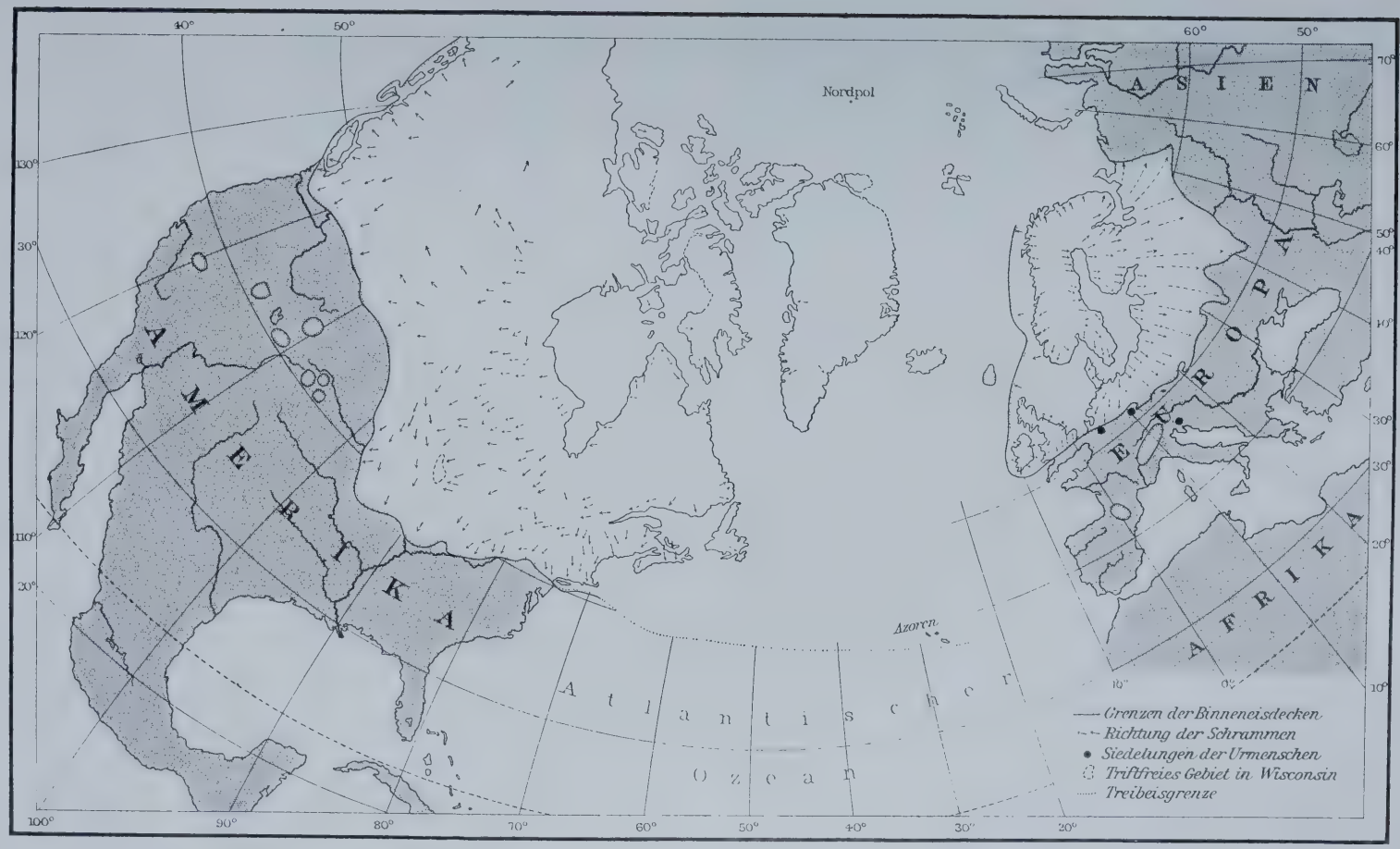


Abb. 354. Karte der größten Ausdehnung der diluvialen Eisdecken im Ufergebiet des nördlichen Atlantik. (Nach Walther.)

Pliocänzeit von der heutigen nicht wesentlich abwich, wenn man die inzwischen ausgestorbenen Arten ausschaltet, trat mit Beginn der Eiszeit eine tiefgründige Umwandlung ein. Indem sich das Eis allmählich von Skandinavien her über das mit diesem noch landfest verbundene Norddeutschland hinwegschob, wurden die Pflanzen und Tiere immer mehr nach Süden gedrängt, soweit ihnen nicht die weit ins Vorland vorrückenden Gletscher der Alpen eine Schranke setzten. Ein furchtbarer Kampf ums Dasein war die Folge. Die Waldungen wurden unter dem Eis begraben, soweit sie nicht schon der eisige Hauch vorher vernichtet hatte. An Stelle riesiger Wälder konnte am Eisrand nur eine kümmerliche Moossteppe oder Tundra ihr Dasein fristen, und in unserem Vaterland, in dem die Gletscher bis zum Thüringer Wald vordrangen, blieb nur ein kaum 300 km breiter Streifen zwischen dem Eisrand und der Donau übrig, der natürlich nicht die gesamte zurückweichende Flora und Fauna aufzunehmen vermochte. Pflanzen und Tiere wurden nach Osten gedrängt und fanden in den weiten Steppen Südrußlands und Asiens günstige Lebensbedingungen, während das eisfreie Frankreich einen anderen Teil zu beherbergen vermochte. Aus diesen Gebieten drangen die Lebensformen auch wieder vor, als auf die erste Eiszeitperiode ein längerer eisfreier Zeitraum folgte. Aber Flora und Fauna mußten dem erneuten Eisvorstoß wieder weichen, und da dieser noch weiter nach Süden ging als der erste, kostete er ungezählten Organismen das Leben. Die an wärmeres Klima gewöhnten großen Säugetierformen, wie Mammut, Säbeltiger oder Flußpferd, starben aus; ihre Stelle nahmen die dem kälteren Norden entstammenden, vor dem Eis nach Süden gewanderten Moschusochsen, Rentiere und Steinböcke ein. Diese Fremdlinge wurden in Deutschland so heimisch, daß ihre Knochenreste sehr häufig gefunden werden. Als aber später das Eis sich für immer aus unseren Breiten verzogen hatte, konnten sie das wärmere Klima nicht mehr vertragen. Sie wanderten, dem Eise folgend, wieder ihrer nordischen Heimat zu, wo sie in Sibirien, Lappland oder Grönland noch heute vorkommen. Einige indessen — und das ist bemerkenswert — blieben in Mitteleuropa, zogen sich aber ins Hochgebirge zurück, wo in der Region der Gletscher dieselben klimatischen Verhältnisse herrschend blieben, wie sie zur Eiszeit allgemein waren. In den Alpen, in den Pyrenäen und im Kaukasus treffen wir auf solche „Relikten", Überbleibsel der Eiszeit; viele Alpenpflanzen gehören dazu, und von Tieren der im Mittelalter noch recht häufige Steinbock und das grabende Murmeltier.

Nach dem Rückzug der Gletscher war das eisfreie Gebiet eine Wüste, die sich ganz allmählich in eine Steppe umwandelte. In ihren Ablagerungen treffen wir auf Knochen typischer Steppentiere, so des Lemmings, des Pfeifhasen, Ziesels und Murmeltiers, alles Formen, die den besonderen Bedingungen der Steppe angepaßt sind und auch heute noch in den Steppen Rußlands und Asiens — nicht aber mehr in Deutschland — vorkommen.

Die Steppengräser düngten den Boden, und mit zunehmender Erwärmung konnten bald auch anspruchsvollere Gräser ihr Auskommen finden. Es entstanden Weideflächen, und auf ihnen wuchs allmählich der deutsche Wald heran.

So gut wir auch über die Erscheinungen der Eiszeit orientiert sind, auf die wir noch näher einzugehen haben, über die eigentlichen Ursachen der diluvialen

Abb. 355. Gletschergarten von Luzern.
Das Eis hat den Felsboden glatt geschliffen und in der Richtung der Gletscherbewegung deutlich geschrammt.

Vereisung sind wir noch durchaus im Unklaren. Ob man kosmische Ursachen oder geophysikalische heranzieht, stets tappt man im Dunkeln, denn es mangelt an jeglichen Beweisen für die Voraussetzungen, die man für die Erklärung der Temperaturerniedrigung zu machen hat.

Auf sichererem Boden stehen dagegen die Berechnungen über die Zeitdauer, die seit dem Abschluß der Glazialperiode vertrieben ist. Aus dem Anwachsen von Deltas in Schweizer Seen hat man eine Spanne von 15000—20000 Jahren berechnet, und de Geer hat die Dauer des Rückzuges der Gletscher aus dem nordischen Gebiet auf 12000 Jahre veranschlagt.

Wir wenden uns nun den Glazialerscheinungen im einzelnen zu und behandeln zunächst

1. das alpine Glazialgebiet.

Die Alpen, noch jetzt in ihren zentralen Teilen mit Gletschern bedeckt, waren während der Glazialzeit bis tief hinab von Eis eingehüllt. Aus jedem ihrer Täler krochen breite Gletscher hinab, die auf der Höhe miteinander verschmolzen, und die auch an dem Fuß des Gebirges, und zwar im Norden wie im Süden, wieder zu einer einheitlichen Masse zusammenflossen. Im Norden, wo es das Klima eher

als auf der südlichen Seite erlaubte, streckten sich die mächtigen Gletscher weit ins Tiefland vor und erreichten im Vorland des westlichen Alpenteils das französische Zentralplateau, auf deutschem Gebiet den Rheinfall und die nähere Umgebung von München. Je weiter wir nach Osten gehen, um so geringer war die Vergletscherung des vor den Alpen gelegenen Gebietes.

Als unzweifelhafte Zeugnisse der Eisbedeckung blieben nach dem Zurückweichen der Gletschermassen im Vorlande der Alpen die riesigen Moränenzüge liegen, welche, bogenförmig angeordnet, die Enden der Hauptgletscher anzeigen. Die hügelige Landschaft nördlich des Bodensees oder am oberbayerischen Alpenrand ist ebenso eine typische Moränenlandschaft wie das Hügelgelände am Südrande der oberitalienischen Seen.

Die Moränen der Eiszeit setzen sich aus ungeschichteten Blocklehmen zusammen, genau wie diejenigen der heutigen Gletscher; daneben finden sich, wenn die Schmelzwässer ihre Sortierarbeit getan haben, auch geschichtete Schotter, Kiese und Sande, die in zahlreichen Brüchen gewonnen werden. Die großen Blöcke konnte das Wasser allerdings nicht transportieren; diese blieben als Findlinge oder erratische Blöcke liegen. Wo das Eis aber über festen Felsboden hinweggegangen war, da hatten die in ihm eingebackenen Geschiebe den Untergrund aufgekratzt oder abgeschliffen. Es entstanden die Gletscherschliffe und Gletscherschrammen, aus deren Richtung man wichtige Schlüsse auf die Eisbewegung ziehen kann. Auch Strudeltöpfe, wie sie das Schmelzwasser unter dem Eise mit Hilfe von Rollsteinen auskolkt, sind im alpinen Glazialgebiet nicht selten; in dem berühmten Gletschergarten von Luzern sind diese Erosionswirkungen eines alten Gletschers besonders deutlich zu erkennen (Abb. 355, 274, 280).

Abb. 356. Endmoräne am Fischbödele in den Vogesen.

Zwischen den vier Eisperioden der Alpen (Günz-, Mindel-, Riß- und Würmzeit) lagen die wärmeren Interglazialzeiten, die sich sicher über sehr ausgedehnte Zeiträume erstreckt haben müssen, weil sonst die Entwicklung ihrer Flora und Fauna nicht möglich gewesen wäre. Reichliche Pflanzenreste beherbergt die sog. Höttinger Brezzie, eine zwischen zwei Moränen eingeschaltete Brezzie bei Innsbruck; die Funde von Buchsbaum und Rhododendron sprechen hier nicht nur für ein gemäßigtes, sondern sogar für ein warmes Klima. Auch in der Schweiz hat man interglaziale Torflager gefunden und in ihnen Reste von Mammut und Rhinozeros nachgewiesen; in Übereinstimmung mit den nördlichen stehen die Vorkommen am Südfuß der Alpen, z. B. am Iseosee.

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 357. Erratischer Block (Findling) in Dahlem bei Berlin.

Es ist erklärlich, daß organische Reste aus den eigentlichen Glazialzeiten nicht vorhanden sind, schloß doch die mächtige Eisdecke jegliches Leben aus. Daß sich aber, wie schon oben angeführt, bis hart an den Eisrand eine Tundra vorgeschoben hat, dafür sprechen die in den Alpen und im nordischen Glazialgebiet gemachten Pflanzenfunde, die aus nordischen Arten bestehen. Wie heute im Tundrengebiet, fanden auch damals nur einige widerstandsfähige Bäume, wie die Zwergbirke und die Polarweide, ihre Daseinsbedingungen.

2. Das nordische Glazialgebiet.

Blieben die Alpen immerhin nur ein relativ kleines, in sich geschlossenes Glazialgebiet, so war der gesamte Norden Europas und Amerikas in weitester Ausdehnung von einer mächtigen Eisdecke überzogen, die, ohne in Gletscher aufgelöst zu sein, sich in einheitlicher Masse über einen Raum von 6 bis 7 Millionen Quadratkilometer ausdehnte. Das Zentrum der Vereisung war das Skandinavische Gebirge, von hier aus reichten die Eismassen bis nach Sibirien einerseits und England andererseits und hörten im Süden erst auf einer Linie auf, die etwa durch die Städte Kiew, Warschau, Berlin abgegrenzt werden kann.

Abb. 358. Gletscherschrammen an einem Quarzitgeschiebe.

Über die Mächtigkeit der Eisdecke kann man sich eine ungefähre Vorstellung machen, wenn man die Dicke des nach Abfluß des Eises zurückbleibenden Schuttes in Betracht zieht. An den deutschen Küsten beträgt diese fast 200 m, bei Berlin etwa 100 m, um dann nach Süden immer mehr abzunehmen. Unter den Blöcken fallen einige durch ihre riesenhafte Größe besonders auf. Bei Berlin sind solche Findlingsblöcke nicht selten; sehr groß sind die beiden Markgrafensteine in den Rauener Bergen am Scharmützelsee; aus der Hälfte des einen hat man die große Granitschale im Berliner Lustgarten herausgearbeitet.

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 359. Wechsellagerung zwischen Kreide und Diluvium (grauer Geschiebelehm) an der Küste zwischen Saßnitz und Stubbenkammer.

Sehr gut kann man die Moränen an der Rügenschen Ostküste beobachten, wo die Brandung immer wieder neue Profile schafft. Die Moränen stellen sich als bläuliche, an der Luft gelblich und bräunlich verwitternde kalkige Lehme dar, die mit Gesteinen reich gespickt sind, enthalten sie doch die verschiedensten Gesteine all jener Gegenden, über welche das Eis einst hinwegging. Granite, Gneise, Porphyre, Kalke, Sandsteine und Feuersteine bilden ein wirres Durcheinander; oft sind die Stücke abgerundet, geglättet und mit Kritzen und Schrammen versehen. Zwischen diesen Geschiebemergeln liegen Sande und Kiese, die aus den Moränen durch die Schmelzwässer herausgespült und in feinen Schichten wieder abgesetzt wurden.

Wie in den Alpen, sind auch in Norddeutschland die zwischeneiszeitlichen Bildungen paläontologisch interessant. Elefanten, Nashörner, Rinder, Rentiere lebten auf deutschem Boden, der von Fichten, Birken, Weiden, Pappeln und Ahorn reich begrünt wurde. Daß aber nach dem endgültigen Verschwinden der Eisbedeckung aus Norddeutschland in unseren Breiten eine Tundra von nordasiatischem Charakter sich ausbreitete, dafür sprechen Funde nordischer Pflanzen und Tiere in den verschiedensten Teilen Nordeuropas.

Die Erkenntnis, daß die zahlreichen erratischen Blöcke, deren Heimat ja unverkennbar ist, durch das fließende Eis nach Deutschland verfrachtet wurden, ist noch nicht

so sehr alt, nahm man doch früher an, daß Eisberge die Blöcke über ein die Ostsee und Norddeutschland einnehmendes Meer zu uns herübergetragen hätten. Diese Drifttheorie wurde erst in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts durch die Glazialtheorie ersetzt. Es war der schwedische Geologe Torell, der auf Grund der Diluvialerscheinungen in Norddeutschland die ehemalige Vergletscherung erwies. Dabei spielten vor allem einige Erscheinungen eine Rolle, die er in Rüdersdorf bei Berlin beobachtete, wo das Eis über die festen Muschelkalkschichten hinweggeschritten war. Deutliche Glättung und Kritzung der Oberfläche und mehrere tiefe Strudellöcher bewiesen dem mit den Erosionserscheinungen des Eises in Skandinavien vertrauten

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 360. Moräne bei Rüdersdorf bei Berlin mit Lehm, Sand, Kies und einzelnen Blöcken.

Forscher die ehemalige Vergletscherung. Ein typisches Merkmal für die ehemalige Eisbedeckung sind weiterhin auch die langen Endmoränenzüge, die das Flachland Norddeutschlands durchqueren. Von Holstein aus läßt sich durch Mecklenburg, Pommern, West- und Ostpreußen der sog. Baltische Höhenrücken verfolgen und zwar ohne größere Unterbrechungen auf eine Länge von 1200 km hin. Wie die Stirnmoränen der heutigen Gletscher, bedeuten diese Endmoränen Stillstandslagen des Eises. Hinter ihnen staute sich beim weiteren Abtauen des Eises das Schmelzwasser und kolkte Seen und Teiche aus, die ja im Gebiet des Baltischen Höhenrückens so außerordentlich zahlreich sind, daß sie einen wesentlichen Zug des Landschaftsbildes ausmachen. Man denke nur an die Seen der Mark, an die mecklenburgische und masurische Seenplatte. Bogenförmig schließen sich die einzelnen Moränen aneinander, oft liegen viele hintereinander, und es entstehen, gerade

Phot. Dr. Wahnschaffe.

Abb. 361. Die Wirkung der Eiszeit: Geschliffene und geschrammte Felsoberfläche bei Rüdersdorf unweit von Berlin (jetzt abgetragen).

durch ihre regellose Anordnung, reizvolle Landschaften mit Hügeln und Tälern, wie man sie im Flachland eigentlich nicht vermutet. Heimatliebe und Heimatstolz verglichen sie wohl mit den Bergen der Alpen, und so entstanden die reichlich euphemistischen Benennungen einer Holsteinischen, Märkischen, Pommerschen Schweiz (Abb. 362).

Das Schmelzwasser suchte sich nun einen Abfluß dem Eisrande parallel, und es entstanden auf diese Weise in Norddeutschland breite Urstromtäler, die eine etwa ostwestliche Richtung einschlagen. Da man mehrere hintereinanderliegende Urstromtäler unterscheiden kann, muß man annehmen, daß sich das Eis nicht kontinuierlich zurückzog, sondern in einzelnen Etappen, die durch längere Pausen unterbrochen wurden. Während dieser Unterbrechungen konnten sich die riesigen Ströme in den lockeren Schichten breite Betten graben, in welchen ihr Wasser zum Meere abfloß. Fünf solcher Urstromtäler haben wir auf unserem heimatlichen Boden. Das südlichste wird nach seiner Lage als das Breslau-Magdeburger bezeichnet; vielleicht setzte es sich im Westen, etwa dem Laufe der Aller folgend, in das unterste Wesergebiet fort. Außer diesen Flüssen wird es jetzt im Gebiet südlich von Magdeburg von der Elbe durchflossen. Nördlich von ihm liegt als zweites das Glogau-Baruther Urstromtal und als drittes das Warschau-Berliner. Besonders lang ist dann das Thorn-Eberswalder Tal, das von der Weichsel, von der Netze und einem Stück der Oder durchströmt wird, während das nördlichste, sog. Pommersche Urstromtal, etwa der heutigen Küste parallel läuft.

Die Ostsee bildete sich erst heraus, nachdem das Eis abgeschmolzen war. In ihrem kalten Wasser lebte eine arktische Tierwelt, deren Leitform die kleine Muschel Yoldia arctica war. Dann aber erhoben sich die westlichen Landgebiete hoch aus

Die Lagune von Solnhofen mit den bei der letzten Flut herbeigetragenen Meerestieren und vereinzelten Insekten, nach denen im Vordergrund Archaeopteryx, darüber Rhamphorhynchus jagen; im Hintergrund ein sitzender Pterodactylus (n. Walther).

IBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLI O

Phot R. Potonié.

Abb. 362. Norddeutsche Endmoränenlandschaft.
l—l: Lieper Bogen der Uckermärkischen Endmoräne; diesem nördlich vorgelagert ein Stausee, der Plagesee; links von *m* vermoorter Teil des Plagesees. Blick über das Naturschutzgebiet Plagefenn von den Plagebergen aus.

dem Wasser und schlossen die Ostsee von der Nordsee vollkommen ab. Ihr Wasser süßte allmählich vollkommen aus, und in dem Binnensee entwickelte sich eine typische Süßwasserfauna, besonders charakterisiert durch die Muschel Ancylus fluviatilis. Eine erneute Schaukelbewegung des Nordens bedingte ein Untertauchen aller tiefgelegenen Landstücke unter den Wasserspiegel. Salzwasser strömte wieder durch eine weit geöffnete Pforte ein, die Süßwassermuscheln starben ab, und an ihrer Stelle siedelten sich marine Schnecken, besonders die Strandschnecke Litorina litorea an. Die Kontinentalbewegungen kamen aber nicht zum Stillstand. Abermals setzte eine Hebung des umliegenden Landes ein, und diese dauert auch heute noch fort. Die Belte und der Sund sind schmale Tore, die nur wenig Nordseewasser in die Ostsee hineintreten lassen. Deshalb beschränkt sich die rein marine Tierwelt auf den westlichsten Teil der Ostsee, während das Wasser, je weiter wir nach Osten kommen, um so mehr ausgesüßt ist. Im Osten finden sich nur noch wenige marine Arten, die zudem klein sind, so daß wir von einer Kümmerfauna sprechen müssen. Natürlich gehen diese Hebungen und Senkungen so langsam vor sich, daß sie sich der direkten Beobachtung entziehen, und wir können nicht entscheiden, ob inzwischen ein Stillstand eingetreten ist oder ob die Ostsee auf dem Wege ist, sich allmählich in einen regelrechten Binnensee umzuwandeln.

Eine der geologisch wichtigsten Bildungen der Eiszeit ist der Löß, ein sehr feiner, kalkiger Lehm. Aus dem Moränenmaterial bliesen die Stürme das feinste

Material heraus und trieben es südwärts, bis es sich an anderen Stellen, namentlich aber an den Abhängen der deutschen Mittelgebirge, wieder ablagerte. In Thüringen und Franken, in Schwaben und im Rheintal, in Sachsen und Schlesien findet sich Löß in großer Menge; hier bildet er einen sehr fruchtbaren Boden. Die Knochen, die man im Löß gefunden hat, gehören sämtlich Steppentieren an, auch einige Landschnecken sind sehr häufig, so die winzige Pupa muscorum und Helix hispida.

Lehmabsätze aus der Diluvialzeit haben sich auch in vielen Höhlen gebildet, sie sind berühmt geworden durch die in ihnen gefundenen Reste von großen Säugern. Aus dem Lehm der Rübeländer Höhlen im Harz sowie der Höhlen Frankens und

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 363. Kreuzschichtung von Sand und Kies in einer bei dem Abschmelzen des diluvialen Eises entstandenen Kiesablagerung auf der Insel Rügen.

Schwabens hat man zahlreiche Skelette des riesenhaften Höhlenbären (Ursus spelaeus) ausgegraben, daneben Knochen von Höhlenlöwen, Urochsen, Nashörnern, Rentieren, die dort Unterschlupf suchten. Auch künden sich jetzt untrügliche Zeichen des Auftretens des Menschen an: viele Knochen sind zerbrochen, um das Mark zu gewinnen, und einige sind auch zu primitiven Werkzeugen umgewandelt.

Abgesehen von dem nordischen und dem alpinen Glazialgebiet waren in Deutschland auch noch einige Mittelgebirge vereist. Besonders deutlich sind die Glazialerscheinungen auf dem Schwarzwald und in den Vogesen. Hier finden sich typische Gletschertäler, die von Karseen erfüllt sind und deren Ende mit einem typischen Kar abschließt. Solche Gletscherseen sind im Schwarzwald der Feldsee, in den Vogesen der schwarze See, der weiße See und viele andere, die mit ihren

Technophot. Archiv, Berlin.

Abb. 364. Blick auf ein einst vergletschertes Tal der Anden.
Die hintereinander liegenden Seen bekunden das allmähliche Rückschreiten der eiszeitlichen Gletscher.

Felsenhintergründen sehr malerische Landschaftsbilder ergeben. Auch das Riesengebirge, in dem zwei Vereisungen nachgewiesen worden sind, enthält solche Karseen, wie den großen und kleinen Teich, die inmitten einer typischen glazialen Erosionslandschaft liegen. Der Harz war ebenfalls in seinen unteren Teilen von Eis bedeckt, über das der Oberharz sich als Insel erhob.

Von den übrigen Ländern waren in Frankreich das Gebiet der vulkanischen Auvergne, der Alpen- und Pyrenäenanteil vergletschert, England bildete ein

eigenes Zentrum der Vereisung und wurde nur in südöstlichen Bezirken vom skandinavischen Eis erreicht. Besonders weitläufig war auch die Eisbedeckung von Nordamerika; mit ihren rund 15 Millionen Quadratkilometern übertrifft sie die europäische ganz beträchtlich; erratische Blöcke wurden hier 1500 km weit nach Süden verfrachtet. Wie in den Alpen unterscheidet man auch in Nordamerika vier Glazialperioden, die von Zwischeneiszeiten unterbrochen wurden, und eine große Übereinstimmung mit der europäischen Vereisung zeigt auch diejenige der südamerikanischen Kordillere. Hier findet sich auch der dem Löß entsprechende Pampaslehm, in dem man Reste riesiger Faultiere (Megatherium) und anderer Säuger gefunden hat.

Dies führt uns dazu, noch einige kurze Bemerkungen über die diluviale Fauna anzufügen, wenigstens soweit sie die Säugetiere anbelangt, die ja seit dem Tertiär die überragende Herrschaft angetreten haben.

Das Charaktertier des Diluviums war unzweifelhaft das Mammut, jener gewaltige Dickhäuter, dessen Herden Mitteleuropa und Sibirien durchstreiften und von dem Exemplare aus dem sibirischen Bodeneis mit Haut und Haaren wieder ausgegraben werden konnten. Das meiste in den Handel kommende Elfenbein entstammt den Stoßzähnen dieses Fossils.

Begleitet wurden die mit langem Wollhaar bekleideten Dickhäuter von den Rudeln der Nashörner (Rhinoceros tichorhinus und Rh. Mercki) und Pferde, die in der jüngeren Diluvialzeit schon durchaus die Artmerkmale des heutigen Pferdes aufweisen. Riesenhirsche (Cervus hibernicus) weideten gemeinsam mit Elchen (Cervus alces) und Rentieren (Rangifer tarandus).

Während die Elche inzwischen fast ausgestorben sind und die Rentiere sich nach dem hohen Norden zurückgezogen haben, fanden Steinbock und Gemse, zur Diluvialzeit Tiere des flachen Landes, in den Alpenhöhen eine Zufluchtsstätte. Auch die Urrinder waren weit verbreitet, so der Ur oder Auerochs (Bos primigenius), der noch die Wälder des alten Germaniens durchzog, und der Bison oder Wisent (Bos priscus), dessen Herden, einst in Nordamerika in Unzahl anzutreffen, der Jagdwut der Yankees zum größten Teil erlegen sind.

Wichtig waren auch die Raubtiere. Der gefährliche Säbeltiger starb zwar im älteren Diluvium aus; an seine Stelle traten Höhlenlöwe (Felis leo spelaeus), Höhlenbär (Ursus spelaeus), Höhlenhyäne (Hyaena spelaea), Wölfe und Hunde.

In den Steppen der Interglazialzeiten und der Nacheiszeiten fanden die Nager so günstige Lebensbedingungen, daß sie sich schnell weiter entwickelten. Lemming, Ziesel, Murmeltier hatten wir schon als Bewohner der Tundren kennengelernt; ihnen ist noch der einst weit verbreitete Biber zuzurechnen.

Als oberstes Glied der Säugetierklasse wäre nun noch der Mensch zu behandeln, dessen Waffen und Werkzeuge auch gleichsam Leitfossilien darstellen. Diese „Artefakte" sind an manchen Stellen außerordentlich häufig; nach ihrer Ausbildung hat man auch die Vorgeschichte oder Prähistorie in einzelne Abschnitte eingeteilt. Die ältesten Reste menschlicher Skelette finden sich im Diluvium, vermeintliche tertiäre Reste haben sich sämtlich als diluvial herausgestellt. Der dem Diluvium

zufallende Teil der Prähistorie wird als Paläolithikum oder Altsteinzeit bezeichnet; ihm folgt das dem Beginn des Alluvium entsprechende Neolithikum oder die Neusteinzeit. Da im zweiten Band von „Natur und Mensch" die Prähistorie ausführlich behandelt wird, erübrigt es sich, an dieser Stelle näher auf ihre Gliederung einzugehen.

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 365. Ein Soll in Mecklenburg, durch Strudelwirkung der Schmelzwässer entstanden.

b) Das Alluvium.

Ganz allmählich gehen die Ablagerungen des Diluviums in jene des Alluviums über. Diese umfassen all jene Sedimente, wie sie sich auch unter den gegenwärtigen klimatischen Bedingungen noch bilden. Das sind Dünen, Sand- und Kiesbänke, Deltaablagerungen, Süßwasserkalke, Torflager. Faunistisch unterscheidet sich das Alluvium vom Diluvium durch das Fehlen der typischen Eiszeittiere, die entweder ausgestorben oder ausgewandert sind. Der Mensch hat sich inzwischen weiter entwickelt, seine zunächst noch aus Stein gefertigten Waffen sind geschliffen und poliert; mit ihnen jagte er den wilden Tieren nach. Später wurde der zunächst nomadisierende Jäger zum seßhaften Viehzüchter und Ackerbauer, der seine Hütten errichtete und allmählich die einzelnen Kulturstufen erklomm. Während im Norden Europas noch Steinwerkzeuge in mühseliger Arbeit hergestellt wurden, hatte der Mensch im Süden bereits gelernt, seine Waffen aus Metall zu verfertigen.

Diese Metallzeit, welche auf die neolithische oder Neusteinzeit folgt, zerfällt wiederum in zwei Abschnitte: eine ältere Bronzezeit, in der die Gerät-

schaften aus einer Legierung von Kupfer und Zinn angefertigt wurden, und eine jüngere Eisenzeit, in der das Eisen mehr und mehr zum beherrschenden Metall wird.

Damit geht aber die geologische Vergangenheit allmählich in die geschichtliche Zeit über, der Geologe gibt seine Chronik an den Historiker ab, der nun aus lebendigen Quellen, die immer kräftiger fließen, zu schöpfen vermag.

* * *

Sechster Teil

Die Erde in der Gegenwart

Grundzüge der physischen Geographie

Von Dr. C. W. Schmidt

Gliederung des sechsten Teiles

Seite

I. Überblick über die Gesamterde 409

II. Die Lufthülle 414

A. Temperatur der Lufthülle 414
B. Die Winde 421
C. Das Wasser in der Atmosphäre 424
D. Das Klima 427

III. Das Meer 433

A. Die Meeresräume 433
B. Das Wasser des Meeres 438
C. Die Temperatur des Meeres 440
D. Die Eisbedeckung des Meeres 444
E. Die Wellen des Meeres 446
F. Die Gezeiten 450
G. Die Meeresströmungen 451

IV. Das Festland 456

A. Die Gebirge und Ebenen 458
B. Die Flüsse 469
C. Die Seen 471
D. Halbinseln und Inseln 476
E. Die Küsten 478

I. Überblick über die Gesamterde.

Nachdem wir in den vorhergehenden Abschnitten dieses Buches die Entwicklung unseres Planeten kennengelernt haben, gehen wir in diesem letzten Hauptteil dazu über, die Erde in ihrem heutigen Zustand zu überblicken. Diese physische Geographie beschreibt nicht Einzelerscheinungen — das ist Aufgabe der Länderkunde —, sondern sie sucht die gemeinsamen Merkmale herauszuarbeiten. Sie beschränkt sich naturgemäß nicht auf die feste Erdrinde, sondern sie bezieht auch das flüssige Element sowie die Lufthülle in den Kreis ihrer Betrachtungen. Ein letzter Abschnitt (die „Biogeographie") erörtert schließlich die Pflanzen- und Tierwelt sowie das Menschengeschlecht in der Wechselbeziehung zur Erde. Die biologischen Wissenschaften geben aber hier so viel Unterlagen, daß Pflanzen- und Tiergeographie ebensogut biologische Disziplinen wie geographische sind, während die Anthropogeographie im Rahmen unseres Werkes zum Teil bei der Anthropologie, zum Teil bei der angewandten Geographie behandelt wird.

Bevor wir auf die großen Abschnitte eingehen, müssen wir einige Grundzüge, die für das Gesamtbild der Erde wesentlich sind, aufdecken. Die geologische Geschichte hatte uns einen ständigen Kampf des Meeres mit dem Festland gezeigt; deshalb ist es eine wichtige Aufgabe der Geographie, die Abgrenzungen zwischen Meeres- und Landfläche möglichst genau festzustellen. Die Forschungsreisen und Seefahrten haben in früheren Jahrhunderten wesentlich dazu beigetragen, das Antlitz der Erde in seinen Einzelheiten kennen zu lernen, aber erst Alexander v. Humboldt wies der Forschung jene neue Aufgabe zu, auch der vertikalen Gliederung nachzugehen. Solange man nur die über dem Meeresspiegel herausragende Erdoberfläche kannte, die Ozeane aber gleichsam als glatte Wasserflächen ansah, konnte man über die Gesamtgliederung unseres Planeten nur wenig aussagen. Erst die Tiefsee-Expeditionen erbrachten das nötige Material und lehrten ganz neue, für die Erkenntnis des Erdganzen wichtige Erscheinungen beobachten. Und auf der anderen Seite wurden unsere Kenntnisse außerordentlich vertieft durch die Erschließung der Atmosphäre mit Hilfe der Luftschiffahrt.

Aber trotz aller Fortschritte der Zivilisation und Technik sind wir von einer vollständigen Kenntnis des Erdballs noch weit entfernt, und selbst von den Grenzlinien der Länder und Kontinente verdanken nur wenige Punkte ihre Bestimmung einer genauen geodätischen Messung.

Wirklich unerforschte Gebiete liegen vor allem an den Polen; sie umfassen im Norden etwa 4, im Süden etwa 14 Millionen Quadratkilometer, was zusammen beinahe den doppelten Flächeninhalt von Europa ausmacht — an der Gesamtfläche der Erde gemessen allerdings nur 3—4%.

Daß die Meeresflächen die Landflächen an Größe stark überwiegen, war schon seit längerer Zeit bekannt. Ein genaues Verhältnis zwischen Festland und Ozean vermag man aber auch heute noch nicht anzugeben, da man über die Verteilung von Wasser und Land in den Polargebieten nur sehr dürftig unterrichtet ist und da — wie schon erwähnt — ein großer Teil der Küstenlinien ziemlich oberflächlich auf den Karten festgelegt wurde, so daß große Fehlerquellen vorhanden sind. Die

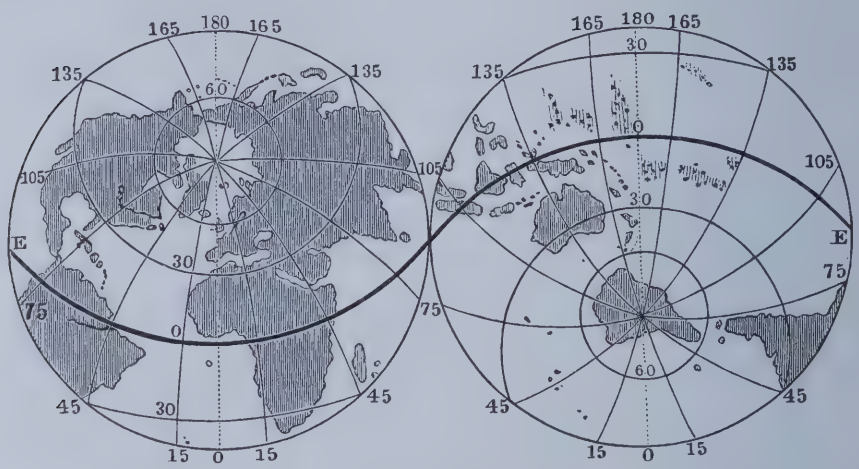


Abb. 366. Land- und Wasserhalbkugel der Erde.

genauesten Berechnungen ergeben eine Landfläche von 149 Millionen Quadratkilometern und eine Meeresfläche von 361 Millionen Quadratkilometern. Wir haben also auf der Erde 29,2% festes Land.

Ein flüchtiger Blick auf den Globus zeigt uns nun weiterhin, daß das Land ungleichmäßig auf der Erdoberfläche verteilt ist. Nur in einem Gürtel zwischen 40° und 70° nördl. Breite überwiegt mit ungefähr 60% das Land, in allen anderen Breiten wird es vom Meere überflügelt, und zwar um so mehr, je weiter wir nach Süden gelangen. Enthält die nördliche Halbkugel im Durchschnitt 40% Land und 60% Meer, so beträgt der Festlandanteil auf der südlichen Hemisphäre nur 19%, und zwar im günstigsten Falle, wenn man nämlich in der Antarktis einen 14 Millionen Quadratkilometer großen Kontinent annimmt. Um einen klaren Überblick über die Verteilung von Land und Wasser zu gewinnen, hat man die Erde in eine Land- und eine Wasserhalbkugel geteilt; man hat einen größten Kreis gezogen, der einmal die Gebiete mit dem meisten Wasser, ein anderes Mal jene mit dem meisten Festland abtrennt. Der Pol der Landhalbkugel liegt bei dieser Scheidung an der Loiremündung, der Pol der Wasserhalbkugel bei Neuseeland. Aber selbst auf der Landhalbkugel überwiegt noch mit 54% das Meer, während auf der Wasserhalbkugel das feste Land überhaupt nur 11% ausmacht.

Schließlich belehrt uns ein Blick auf den Globus über die grundsätzliche Verschiedenheit hinsichtlich der Verteilung von Land und Meer. Das Meer steht in einem ununterbrochenen Zusammenhang, während die Festländer als getrennte Massen darin zu schwimmen scheinen. Die Inseln selbst haben dabei, da sie nur 7,2% der gesamten Landfläche einnehmen, eine untergeordnete Bedeutung.

Zwischen Kontinenten und Inseln besteht nur ein Größenunterschied: die größte Insel, Grönland, ist ein knappes Drittel so groß wie Australien, das mit seinen 7,6 Millionen Quadratkilometern der kleinste Erdteil ist. Vier große Kontinentalmassen haben wir zu unterscheiden: die alte Welt, Europa, Asien und Afrika umfassend, die Neue Welt (Nord- und Südamerika), Australien und die Antarktis. Große Einbrüche haben Alte und Neue Welt wieder geteilt; Amerika in Nord- und Südamerika, die alte Welt in Eurasien und Afrika. So erhalten wir mit der Antarktis folgende sechs Kontinente:

Eurasien	mit 50,7	Mill.	Quadratkilometer
Nordamerika	„ 20,0	„	„
Südamerika	„ 17,6	„	„
Afrika	„ 29,2	„	„
Australien	„ 7,6	„	„
Antarktis	„ 14,0	„	„

Europa ist hierbei also nicht als besonderer Kontinent aufgeführt worden. Zwar galt er in früheren Zeiten stets als solcher, aber er verdankte diese Bezeichnung dem klassischen Altertum, das geographisch einen sehr kleinen Weltkreis umschloß. Das wichtigste Merkmal eines Kontinents, die räumliche Trennung von den anderen, fehlt Europa; nicht einmal eine Einengung bezeichnet die Grenze gegen Asien, sondern breit geht das asiatische Tiefland in die russische Tafel über. Nur durch seine „abendländische" Kultur ist Europa von den übrigen Kontinenten geschieden: Europa ist demnach ein kulturgeschichtlicher, nicht ein geographischer Begriff.

Nachdem wir einen Überblick hinsichtlich der horizontalen Verteilung gewonnen haben, wenden wir uns der vertikalen Gliederung zu.

Auf Karten wird dieser vertikalen Gliederung dadurch Rechnung getragen, daß sowohl alle Punkte, die sich gleich hoch über dem Meeresspiegel erheben, wie alle jene, die gleich tief unter dem Meeresniveau liegen, durch Linien miteinander verbunden werden. Die Kurven gleicher Höhen nennt man Isohypsen (griech. isos = gleich, hypsos = Höhe), diejenigen gleicher Tiefen unter dem Meeresspiegel Isobathen (griech. isos = gleich, bathos = Tiefe). Setzen wir die gesamte Oberfläche der Erde mit 100 an, so erhalten wir für die einzelnen Höhen- und Tiefenstufen folgende Prozentzahlen (nach Wagner):

8840—3000 m	über	dem	Meeresniveau		1,2%
3000—2000 „	„	„	„	„	2,0 „
2000—1000 „	„	„	„	„	4,7 „
1000—200 „	„	„	„	„	11,8 „
200—0 „	„	„	„	„	9,5 „

0—200	m	unter	dem	Meeresniveau	5,7%
200—1000	„	„	„	„	2,5 „
1000—2000	„	„	„	„	3,7 „
2000—3000	„	„	„	„	7,1 „
3000—4000	„	„	„	„	15,5 „
4000—5000	„	„	„	„	22,2 „
5000—6000	„	„	„	„	13,1 „
6000—9780	„	„	„	„	1 „

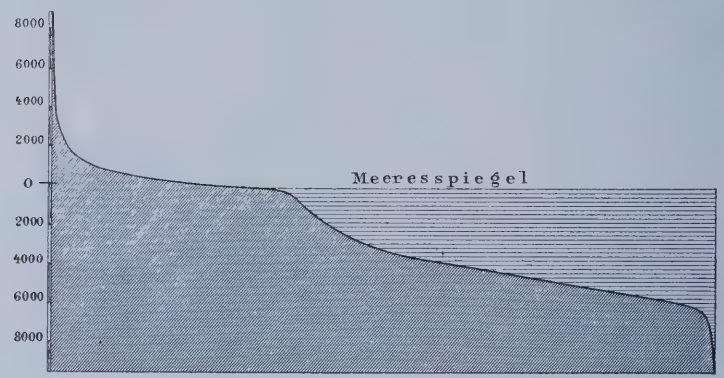


Abb. 367. Verteilung der Höhen- und Tiefenstufen auf der Erde (Hypsometrische Kurve).

Wenn wir diese Werte derart in ein Liniennetz einzeichnen, daß die Höhen und Tiefen auf der Vertikalen (Ordinate), die entsprechenden Prozentteile auf der Horizontalen (Abszisse) aufgetragen werden, so erhalten wir eine sog. hypsometrische Kurve, deren Endpunkte durch den höchsten Berg einerseits und durch die größte Meerestiefe andererseits bezeichnet sind. Der Verlauf der Kurve ist sehr unregelmäßig; zuerst fällt sie steil ab, um sich dann allmählich abzuflachen. Erst bei 200 m unter dem Meeresspiegel beginnt ein neues Gefälle, denn bis zu dieser Tiefenstufe setzt sich die Kontinentaltafel noch unter dem Wasser fort. Zwischen 200 und 3000 m liegt die Kontinentalböschung, und dann setzt mit neuem, starkem Gefälle der Absturz in die Tiefsee ein (Abb. 367). Die Skizze zeigt uns, daß mehr als die Hälfte der Erdoberfläche von dem Tiefboden der Ozeane eingenommen wird. Einen guten Überblick über die Verteilung der wichtigsten Höhenstufen auf den einzelnen Kontinenten und der wichtigsten Tiefen in den drei Weltmeeren geben die nachfolgenden Tabellen Pencks:

Höhenstufen	Eurasien	Afrika	Australien	Nordamerika	Südamerika	Gesamtland
Hochstufe (über 2000 m) . .	1,8	2,4	0,8	6,0	9,0	7,7
Mittelstufe (200—2000 m) .	67,0	82,2	63,2	61,6	48,4	62,5
Unterstufe (unter 200 m). .	31,2	15,4	36,0	32,4	42,6	29,8

Tiefenstufen	Atlantik	Indik	Pazifik	Gesamtmeer
Kontinentalstufe (0—200 m) . . .	11,5	4,6	5,4	7,1
Kontinentalböschung (200—3000 m).	25,5	21,2	14,5	19,2
Tiefenregion (unter 3000 m) . . .	63,0	74,2	80,1	73,7

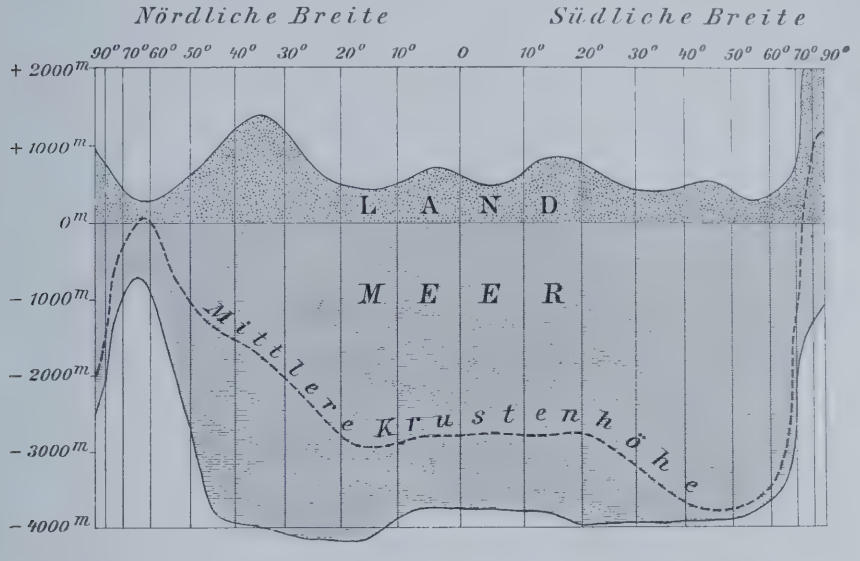


Abb. 368. Verteilung der Höhen- und Tiefenstufen in den einzelnen Breiten.

Ganz allgemein sehen wir also in den Ozeanen die Tiefenregion überwiegen, während auf den Kontinenten die Mittelstufe vorherrscht.

Aus den Flächen gleicher Erhebung und Absenkung hat man auch die mittleren Höhen einzelner Länder bzw. die mittleren Tiefen einzelner Meere errechnet. Während Alexander v. Humboldt vor 80 Jahren als mittlere Höhe des gesamten Festlands 300 m angenommen hatte, haben die neuesten Messungen eine mittlere Höhe von 700, mit Einschluß des im Durchschnitt 2000 m hohen antarktischen Kontinents gar von 800 m ergeben. Dieser Zahl steht die mittlere Tiefe des Weltmeeres mit 3700 m gegenüber.

Würden wir den Landblock, also alles sich über dem Meeresspiegel erhebende Land auf dem Meeresboden gleichmäßig verteilen, so würde dieser um 1300 m erhöht werden, also eine mittlere Tiefe (sog. mittlere Krustenhöhe) von 2400 m aufweisen. Das Meer selbst, das nun die ganze Erdoberfläche einnehmen würde, hätte dann eine durchschnittliche Tiefe von 2600 m, und der Halbmesser der Erde würde um 200 m größer, als er jetzt ist, werden.

II. Die Lufthülle.

A. Temperatur der Lufthülle.

Die Oberfläche der Erde ist mit einer Lufthülle oder Atmosphäre umgeben, deren Höhe man auf 200—250 km berechnet hat. Allerdings nimmt nicht die Atmosphäre in ihrer Gesamtmenge an der Drehung der Erde teil; bereits in 80 km Höhe ist die Abhängigkeit der Luftschichten von der Erdrotation nicht mehr ganz vorhanden. Die Erscheinungen der Atmosphäre liegen aber nur in sehr geringen Höhen (Abb. 369 und Tafel XXVII).

Die Luft ist nicht in ihrem ganzen vertikalen Ausmaß von gleicher physikalischer Beschaffenheit, sondern sie nimmt mit der Höhe an Dichte ab. Bereits 5500 m über dem Meeresspiegel ist die Luft nur noch halb so dicht wie unten.

Der Luftdruck, also das Gewicht der auf die Erdoberfläche lastenden Atmosphäre wird mit dem im Jahre 1643 erfundenen Barometer gemessen; in Seehöhe beträgt er 760 mm, das heißt, er entspricht dem Gewicht einer 760 mm hohen Quecksilbersäule. Eine Quecksilbersäule von dieser Höhe und einem Querschnitt von 1 qcm wiegt 1033 g; der von diesem Gewicht ausgeübte Druck wird als eine Atmosphäre bezeichnet.

Das Gesamtgewicht der Atmosphäre hat man zu etwa 5,1 Trillionen Kilogramm berechnet, das ist noch nicht ein Millionstel des Gewichts der festen Erde und etwa $^1/_{270}$ vom Gewicht der Ozeane.

Einen Schnitt durch die gesamte Atmosphäre zeigt unsere Abb. 370. Wir ersehen aus ihr, daß die meteorologischen Erscheinungen sich auf die unterste, etwa 12 km hohe Luftschicht, die sog. Troposphäre, beschränken. Bis zu 10500 m Höhe ist man mit bemannten, bis 29000 m mit unbemannten, registrierenden Ballons gekommen; die durch den beim Ausbruch des Krakatau 1883 emporgeschleuderten Staub hervorgerufenen leuchtenden Wolken umkreisten — entgegengesetzt der Rotationsrichtung — in etwa 80 km Höhe die Erde. Da in dieser Höhe die Sternschnuppen zum Erlöschen kommen, die bei etwa 200 km aufzuleuchten beginnen, hat man für diesen Bezirk eine von den unteren Schichten stofflich verschiedene Atmosphäre angenommen, die im wesentlichen aus dem leichten Wasserstoffgas besteht (Tafel XXVII).

Über 230 km nimmt man dann ganz leichte Gase an, die die sog. Geocoroniumsphäre bilden. Ganz allmählich gehen sie in jenen feinsten Stoff über, mit welchem man den Raum zwischen den Planeten angefüllt denkt.

Die atmosphärische Luft setzt sich nun aus verschiedenen Gasen zusammen, von denen die wichtigsten der Stickstoff mit 78,03% und der Sauerstoff mit 20,99% sind. Daneben finden sich das stickstoffähnliche Argon mit 0,94%, das Kohlendioxydgas mit 0,03% und der Wasserstoff mit 0,01%. Für die Atmosphäre gelten diese Verhältniszahlen bis zur Höhe von 6000 m, dann nehmen die leichteren Gase an Menge zu.

Für die Erhaltung des Lebens sind Sauerstoff und Kohlendioxyd die wesentlichen Gase. Die Pflanzen benötigen das Kohlendioxyd zur Assimilation, und

Pflanzen wie Tiere den Sauerstoff zur Atmung. Nimmt der Sauerstoff so sehr ab, daß sein Prozentverhältnis unter 17,2 liegt, so hört das organische Leben auf; aber schon weit früher machen sich Störungen bemerkbar, die man zusammen-

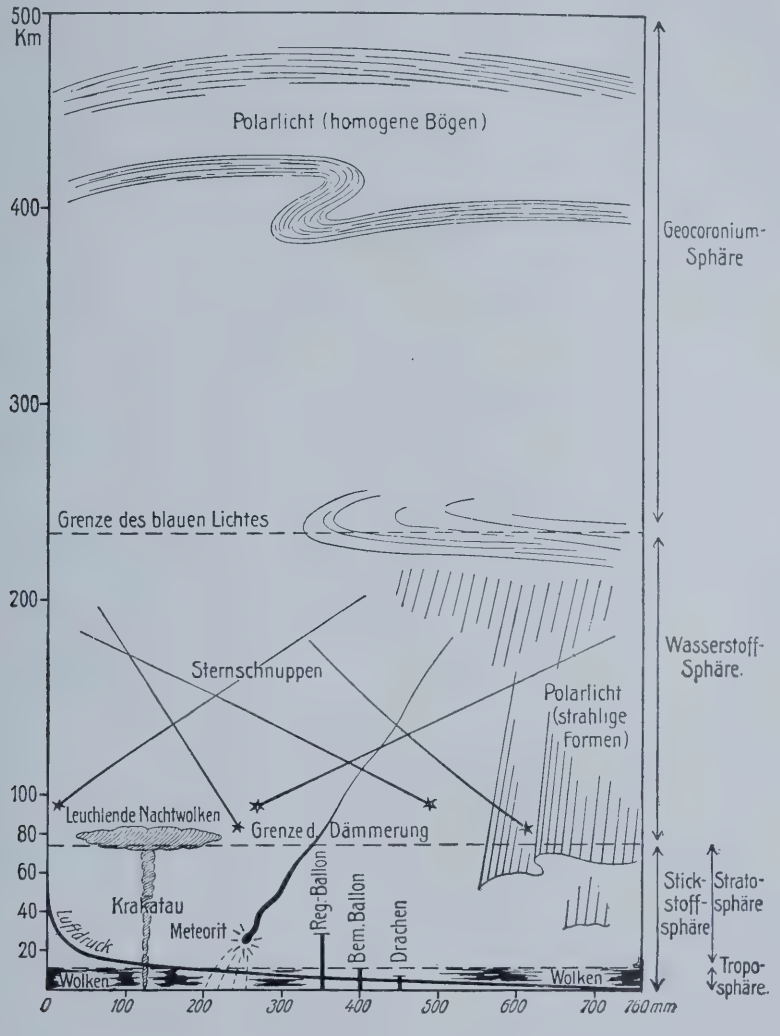


Abb. 369. Schematische Darstellung der Erscheinungen in der Lufthülle.

fassend als Bergkrankheit bezeichnet und die die Ersteigung des höchsten Berges der Erde bisher trotz aller Vorkehrungen vereitelt haben.

Weitere Beimengungen der Luft sind Wasserdampf und in den untersten Schichten verschiedene Gase, Staubteilchen und organische Keime. Je höher wir aufsteigen, um so trockener und reiner wird die Luft; die verschiedenen Färbungen des Himmels sind lediglich durch den Reflex des Lichtes an den festen Partikeln zu erklären, während das dunkle Blau des Himmels auf Bergeshöhen der Farbe der reinen Luft entspricht.

a) Die Erleuchtung und Erwärmung der Atmosphäre.

Licht und Wärme, die unsere Atmosphäre durchfluten, verdanken wir der Sonne. Die Eigenwärme unseres Planeten ist so gering, daß sie die Temperatur an der Erdoberfläche nur um $0{,}1^0$ zu erhöhen vermag, und die Erwärmung durch

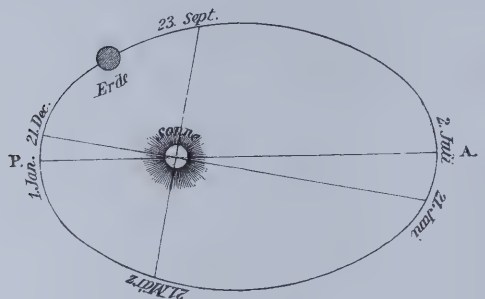


Abb. 370. Die Bahn der Erde um die Sonne.
A = Sonnenferne (Aphel),
P = Sonnennähe (Perihel).

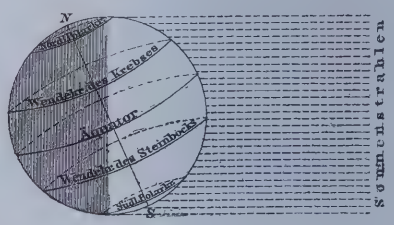


Abb. 371a.
Stellung der Erde am 21. Dezember.

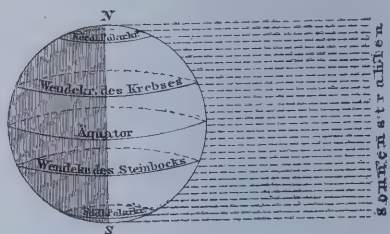


Abb. 371b.
Stellung der Erde am 21. März
und am 23. September.

die Strahlen der Fixsternwelt ist überhaupt gleich Null.

Die Verteilung der von der Sonne ausgehenden Licht- und Wärmestrahlen wird bedingt durch die Kugelgestalt der Erde, durch ihre Rotation und durch ihre Bahn um die Sonne.

Infolge der Kugelgestalt erreichen die Sonnenstrahlen die einzelnen Teile der Erdoberfläche unter verschiedenem Winkel; dies bedingt verschieden starke Erwärmung und Beleuchtung, die am stärksten bei senkrechtem Auftreffen der Strahlen sind, da das Strahlenbüschel sich dann auf die kleinste Fläche konzentriert.

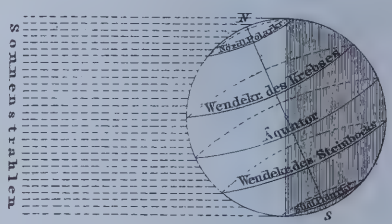


Abb. 371c.
Stellung der Erde am 21. Juni.

Nur immer eine Hälfte der Erdkugel ist den Sonnenstrahlen ausgesetzt, während die andere zur gleichen Zeit die vorher aufgespeicherte Wärme wieder in den dunklen und kalten (— 273° C messenden) Weltenraum entsendet. Da die Erde rotiert, wechselt die Bestrahlung dauernd: es entstehen auf diese Weise die Tageszeiten. Da der Einfallswinkel für jeden Punkt der Oberfläche während eines Tages zunächst immer größer wird, um dann sich wieder zu verringern, nehmen auch Erwärmung und Beleuchtung vom ersten Morgengrauen bis zum Mittag zu und vom Mittag bis zum Abend wieder ab.

Läge die Erdbahn in der Richtung der Ebene des Äquators, so würden zu jeder Zeit und für jeden Punkt die Beleuchtung und Erwärmung gleich sein; es gäbe also an allen Punkten der Erde nur gleich lange Tage und Nächte, keine Jahres-

Idealer Durchschnitt durch die Lufthülle bis 85 km Höhe.
(Nach einem Aquarell von Hans Steiner.)

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

zeiten. Diese entstehen dadurch, daß die Erdbahn mit der Äquatorialebene einen Winkel von 23° 27′ bildet, und daß die Erdachse gegen die Ebene der Erdbahn in einem Winkel von 66° 33′ geneigt ist. Drei Schemata mögen die dadurch geschaffenen Verhältnisse veranschaulichen (Abb. 371).

Am 21. Dezember wird nur der südliche Wendekreis (des Steinbocks) von senkrechten Strahlen getroffen. Auf der nördlichen Halbkugel sind alle Punkte des Polarkreises unbeleuchtet: hier herrscht Nacht, und alle Orte der Nordhemisphäre haben ihren kürzesten Tag. Dort beginnt der astronomische Winter, auf der südlichen Halbkugel der astronomische Sommer.

Am 21. März und am 23. September befindet sich die Erde in den Schnittpunkten ihrer Bahn mit der Äquatorialebene. Sie wird nur am Äquator von senkrechten Strahlen getroffen, der Einfallswinkel ist unter gleicher geographischer Breite sowohl im Norden wie im Süden gleich. Tag und Nacht haben an allen Punkten (außer an den Polen) die gleiche Dauer, es sind die Tag- und Nachtgleichen, an denen Frühling und Herbst einsetzen.

Am 21. Juni schließlich fallen senkrechte Sonnenstrahlen lediglich auf den Wendekreis des Krebses, also auf $23^1/_2{}^0$ nördlicher Breite. Entgegengesetzt zum 21. Dezember ist nun Polarnacht im Süden; die nördliche Halbkugel hat ihren längsten, die südliche ihren kürzesten Tag.

Die Bahn der Erde um die Sonne entspricht einer von der Kreisform nur wenig abweichenden Ellipse. Die Sonne steht in dem einen der beiden Brennpunkte der Ellipse, und dadurch ist die Erde einmal in größter Sonnennähe (im Perihel) und einmal in größter Sonnenferne (im Aphel). Das Perihel wird am 1. Januar, das Aphel am 2. Juli erreicht (Abb. 370). Da die Sonne im Perihel sich schneller fortbewegt als im Aphel, ergibt sich eine Ungleichheit der Jahreszeiten: der Winter der Nordhemisphäre dauert nur 179 Tage, derjenige der südlichen Halbkugel dagegen 7 Tage länger. Das Perihel verschiebt sich nun allerdings jährlich um 62″ gegen den Frühlingspunkt und das Aphel gegen den Herbstpunkt hin. Als vor rund 2000 Jahren Hipparch die wissenschaftliche Astronomie begründete, stand die Sonne am 22. Juni im Zeichen des Krebses; jetzt befindet sie sich bereits 30° westlich davon. In 10500 Jahren sind Perihel und Aphel vertauscht, und nach 21000 Jahren ist ein Umlauf (eine Präzession) erfolgt.

Die Erleuchtung und Erwärmung jedes Punktes hängt von dessen geographischer Breite ab. Vom Äquator, wo Tag und Nacht stets die gleiche Länge haben, bis zu den Polen, wo auf einen halbjährigen Tag eine ebensolange Nacht folgt, nimmt im Sommer die Tageslänge bzw. im Winter die Nachtlänge dauernd zu.

Erwärmung und Beleuchtung werden nun allerdings durch die Atmosphäre wesentlich beeinträchtigt, und zwar um so mehr, je schräger die Strahlen einfallen, also je länger ihr Weg durch die Atmosphäre ist. Kohlendioxyd und Wasserdampf, die in der Luft enthalten sind, verschlucken die Wärmestrahlen und vermindern den Beleuchtungsgrad; sie verhüten aber wiederum auch das Zurückstrahlen der Wärme von der Erde in den Weltenraum. Die blauen Strahlen des Lichtes werden nach allen Seiten zerstreut und rufen die Blaufärbung des Himmels hervor.

Sobald die Sonne unterhalb des Horizonts steht, beginnt nicht unvermittelt die Nacht, sondern die Dämmerung setzt ein, da die Sonnenstrahlen so lange reflektiert werden, bis die Sonne 18° unter dem Horizont herabgesunken ist. In höheren Breiten herrscht längere Dämmerung als in niederen: Während am Äquator Tag und Nacht fast unvermittelt ineinander übergehen, werden die Nächte in den Polargegenden durch Dämmerschein erhellt, und die volle, tiefe Polarnacht schrumpft am Nordpol auf 90 Tage zusammen.

Die Sonnenbestrahlung wird nun durch die Atmosphäre, die Bewölkung und Trübung durch Rauch so stark eingeschränkt, daß die tatsächliche Bestrahlung nur einen Bruchteil der möglichen ausmacht. Die höchste tatsächliche Sonnenscheindauer finden wir auf den Hochflächen von Arizona mit jährlich 3200 Stunden, in Norddeutschland beträgt sie nur etwa die Hälfte.

Eine seltsame Lichterscheinung der hohen Breiten ist das Polarlicht, das besonders deutlich und fast täglich zwischen dem fünften und zehnten Breitenkreis zu beobachten ist, das sich aber auch in den anderen Zonen, selbst am Äquator bemerkbar macht. Die Polarlichter (auch Nord- oder Südlichter, je nach ihrer Lage genannt) sind elektrische Erscheinungen, die mit dem Erdmagnetismus in Zusammenhang stehen; man unterscheidet Bandlichter und Strahlenlichter. In Norddeutschland, z. B. auf Rügen, machen sich die Nordlichter als ein ziemlich heller Schein am nördlichen Horizont namentlich in mondlosen Nächten vor Mitternacht bemerkbar.

b) Die vertikale Verteilung der Temperatur.

Die auf die Erde fallenden Wärmestrahlen werden durch Zurückstrahlung den untersten Luftschichten zugeführt, die dadurch erwärmt werden. Dazu tritt in allerdings sehr bescheidenem Maße die Erwärmung der untersten Luft durch die Eigenwärme der Erde. Durch Wärme werden alle Körper ausgedehnt, also steigt die erwärmte untere Luft in die Höhe, und ihren Platz nimmt neue kalte Luft ein, die nun ebenfalls wieder angewärmt wird. Die Erwärmung bedingt also ein Strömen von Luftschichten nach oben und nach unten. Es kommt indessen bald zum Stillstand, und zwar aus folgendem Grunde: aufsteigende trockene Luft kühlt sich, da sie sich ausdehnt, um je 1° bei einem Aufstieg von je 100 m ab. Es könnten also eigentlich warme Luftschichten gar nicht nach oben gelangen. Nun ist unsere Luft aber mit Wasserdampf beladen, und dieser wirkt einer schnellen Abkühlung entgegen. Immerhin nimmt die durchschnittliche Temperatur der Luft mit zunehmender Höhe ab, bis eine Schicht erreicht wird, in der die Temperaturabnahme fast gänzlich aufhört, ja bisweilen sogar in eine Zunahme umgekehrt wird. Danach unterscheidet man auf Grund zahlreicher Versuche mit Registrierballons und -drachen eine untere Troposphäre und eine obere Stratosphäre, die in den kalten Zonen bei 7 km Höhe, in mittleren Breiten zwischen 9 und 11 km, je nach der Jahreszeit, und am Äquator gar erst bei 16 km beginnt. Einen Überblick über die Temperaturverhältnisse gibt die folgende, aus den Ergebnissen von 400 Ballonaufstiegen über Mitteleuropa gewonnene Tabelle (nach Hann):

Höhe in km	Temperatur	Abnahme für 100 m
1	+ 5,0°	
2	+ 0,5	0,45
3	− 4,0	0,45
4	− 9,2	0,52
5	− 15,4	0,62
6	− 22,0	0,66
7	− 29,0	0,70
8	− 36,2	0,72
9	− 43,2	0,70
10	− 49,2	0,60

In den Gebirgen nimmt die Temperatur mit der Höhe schneller ab als in der freien Ebene, doch wirken hier zahlreiche Einflüsse umgestaltend ein.

Wenn man die Temperaturverteilung auf der Erde kartographisch feststellen will, muß man alle Punkte mit gleicher Durchschnittstemperatur verbinden. Um aber nicht einen grundsätzlichen Fehler zu machen, ist es notwendig, bevor man die Linien der sog. Isothermen einzeichnet, die einzelnen Orte auf das Niveau des Meeresspiegels zu reduzieren. Nach Hann wendet man 0,5° für je 100 m als Faktor an; dadurch scheidet man den Einfluß des Terrainunterschieds aus, man erhält aber sonst Werte, die die klimatischen Sonderheiten jedes einzelnen Punktes zum Ausdruck bringen.

c) Die horizontale Verbreitung der Temperatur.

Wäre die Erde eine Kugel mit einer einheitlich zusammengesetzten Oberfläche, so würde die Temperaturmenge, die eine bestimmte Stelle dieser Oberfläche empfängt, lediglich abhängig von dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlen, also von der geographischen Breite, sein. Nun verhalten sich aber Land und Wasser verschieden: das Land empfängt mehr Wärme als das unter gleicher Breite liegende Wasser. Zudem erwärmt sich das Land schneller als das Wasser, und das Wasser verschluckt weit mehr Wärmestrahlen als das Land, in das die Strahlen nicht einzudringen vermögen. Das Wasser speichert also die Wärme auf und gibt sie nur allmählich wieder ab, während das Land die Wärme sehr bald wieder ausstrahlt. Auf dem festen Lande haben wir also bei Tag eine höhere, bei Nacht eine niedrigere Temperatur als auf dem unter gleicher Breite liegenden Wasser oder anders ausgedrückt: das Seeklima schwankt in seiner täglichen Periode um geringere Werte als das Landklima. Dasselbe gilt natürlich, da die Bestrahlung auch in den einzelnen Jahreszeiten entsprechend verschieden ist, auch für die jährlichen Schwankungen: das Seeklima ist gleichförmiger als das Landklima.

Ganz allgemein nimmt natürlich das Jahresmittel der Temperatur nach den beiden Polen ab, da die Sonnenstrahlung geringer wird. Dementsprechend nehmen die jahreszeitlichen Unterschiede nach den Polen zu; am Äquator sind sie am geringsten. Während die Differenz zwischen der durchschnittlichen Monatstemperatur von Juli und Januar am Äquator nur 0,8° ausmacht, beträgt sie bei 40° n. Br. 19,1° und bei 80° n. Br. gar 35,3°.

Aber eine Reihe von weiteren Verschiebungen außer dem grundsätzlichen Unterschied zwischen Land- und Seeklima tritt noch hinzu und verbietet es, wie es früher geschah, die Klimazonen mit den mathematischen einfach gleichzustellen. Nicht Breitengrade begrenzen die Klimazonen, sondern Isothermenlinien!

d) Die Veränderungen der Temperatur.

Die Temperaturen haben ein tägliches Maximum und Minimum. Diese fallen nicht mit dem höchsten und tiefsten Sonnenstand zusammen, sondern verspäten sich diesen gegenüber um ein paar Stunden. Während das Minimum im Seeklima 1—2 Stunden vor, im Landklima bei Sonnenaufgang liegt, erreicht die Temperatur die höchsten Grade an der See zwischen 12 und 1 Uhr, auf den Kontinenten zwischen 2 und 3 Uhr mittags. Die Differenz zwischen Maximum und Minimum wird Amplitude genannt; sie ist am größten auf regenarmen Hochebenen, wo die dünne, trockene Luft die Ein- und Ausstrahlung befördert. Auf dem Plateau des Karakorums beträgt sie 19,5°, im westlichen Tibet (im Dezember) 17,3°, in Timbuktu 16,2°. Gelegentlich können die Schwankungen noch weit bedeutender sein. Auf dem Plateau von Arizona maß man 42° Differenz, und die schnellste Temperaturveränderung ließ im Felsengebirge in 2000 m Höhe in der Nacht vom 27.—28. Dezember 1894 das Quecksilber innerhalb von 7 Stunden von — 40° auf + 7,2° emporsteigen.

Auch bei der jährlichen Temperaturperiode hinken Maximum und Minimum dem höchsten bzw. dem tiefsten Sonnenstande nach. In mittleren und höheren Breiten sind Juli und Januar auf dem Festland, August und Februar auf dem Meere die extremen Monate. In der tropischen Zone werden die höchsten Temperaturen in den Monaten gemessen, in denen die Sonne den Scheitelpunkt erreicht.

Die Differenz zwischen den extremen Monatstemperaturen nennt man die jährliche Temperaturschwankung; sie nimmt vom Äquator (1,3°) bis zu den Polen zu und ebenfalls vom Meer zum Festland hin.

Beträgt diese jährliche Amplitude weniger als 15°, so sprechen wir von Äquatorial- bzw. von Seeklima, zwischen 15 und 20° Differenz liegt das Übergangsklima, zwischen 20 und 40° das Landklima, und über 40° Differenz zeigt das exzessive Landklima. Die überhaupt vorkommende höchste Schwankung liegt bei Werchojansk in Ostsibirien; sie beträgt 65,9°.

Berücksichtigt man die verschiedenen Höhenlagen, so hat man Berg- und Plateauklima zu unterscheiden. Das erstere ähnelt mit seinen geringen Schwankungen dem Seeklima, das zweite ist streng kontinental; seine tägliche Schwankung ist stets größer als im benachbarten Flachland.

Biologisch wichtig ist noch der Unterschied der Temperaturen von einem Tag zum anderen. Der Wechsel der Temperaturen wirkt sicherlich auf alle Organismen ein, die sich darauf in ihrer ganzen Konstitution einstellen, und der verweichlichende Einfluß des Tropenklimas auf die Europäer hängt sicherlich mit den geringen Temperaturschwankungen zusammen. Die täglichen Unterschiede werden durch Winde, Wolken und Niederschläge hervorgerufen, denen wir uns jetzt zuwenden wollen.

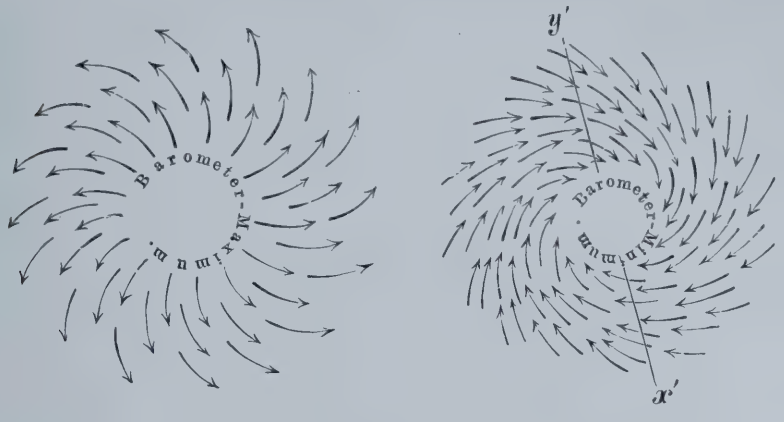


Abb. 372. Antizyklonen und Zyklonen auf der südlichen Halbkugel.

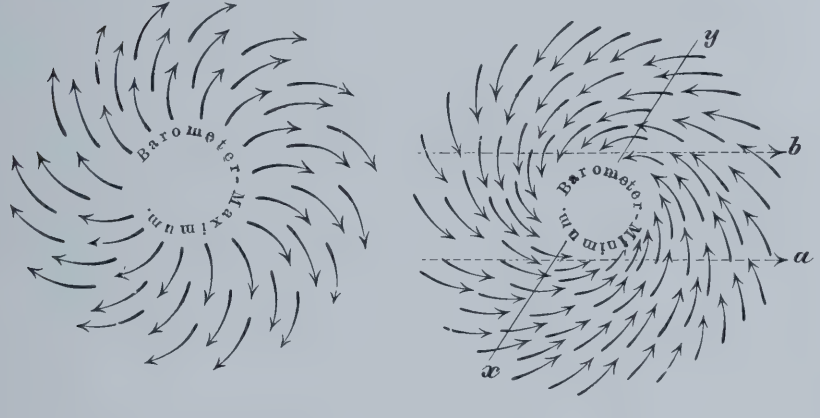


Abb. 373. Antizyklonen und Zyklonen auf der nördlichen Halbkugel.

B. Die Winde.

Ist der Luftdruck in der Atmosphäre ungleich verteilt, so stellen die Winde den Ausgleich wieder her. Zwei Gesetze sind dafür maßgebend. Das Buys-Ballotsche Gesetz besagt: Die Luft fließt von der Gegend höheren Luftdrucks nach der Gegend niederen Luftdrucks und wird dabei infolge der Erddrehung auf der nördlichen Halbkugel nach rechts, auf der südlichen nach links abgelenkt. Eine obere Luftschicht fließt entgegengesetzt zur unteren. Die Ablenkung ist auf dem Meere größer als auf dem Festland, wo die Unebenheiten des Bodens Widerstände bieten. In der äquatorialen Gegend ist die Ablenkung wenig wirksam, sonst bewirkt sie, daß die Luftströmungen in krummlinigen Bahnen verlaufen und Wirbelbewegungen annehmen. Das Stevensonsche Gesetz besagt: die Geschwindigkeit des Windes wird durch die Druckdifferenz bedingt; sie ist auf dem Lande infolge der Reibung geringer als auf dem Meere, aber nur in der Nähe der Erdoberfläche; bereits in 300 m Höhe ist die Windgeschwindigkeit viermal so groß als auf dem Boden.

Drei Arten von Windsystemen lassen sich unterscheiden: Passate, Zyklonen und Antizyklonen. Antizyklonen sind Luftströmungen, die von einem Gebiet hohen Luftdrucks (dem „Maximum") nach allen Seiten tangential abfließen. In der Höhe fließt andauernde neue Luft zu, die dann im Gebiete des barometrischen Maximums nach unten absinkt; hier herrscht also meistens Windstille oder nur geringe Luftströmung. Die Ablenkung der Antizyklonen ist auf der nördlichen Halbkugel entgegengesetzt derjenigen auf der Südhemisphäre.

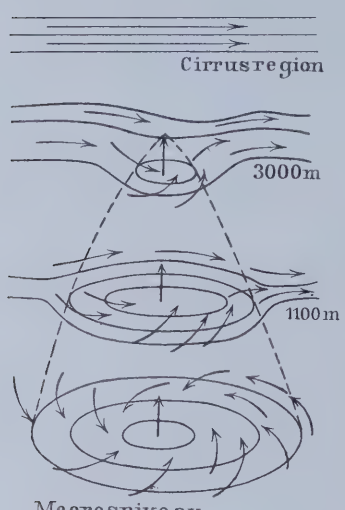


Abb. 374. Schematische Darstellung des nordamerikanischen Zyklonen in vier Niveaus (nach Bigelow).

Im direkten Gegensatz dazu stehen die Zyklonen, zu deren Mittelpunkt (dem „barometrischen Minimum") von allen Seiten Luft aus Gebieten höheren Luftdrucks hinströmt, die natürlich dabei auch durch die Erdrotation abgelenkt wird. Jede Zyklone wird in eine hintere, durch kalte Winde versorgte Polar- und eine vordere, durch warme Winde ausgezeichnete, Äquatorial-Zyklone eingeteilt, innerhalb welcher Temperatur und Bewölkung verschieden sind. In etwa 1100 m Höhe tritt die wieder verteilende Antizyklone in die Erscheinung, in 3000 m ist das Windsystem bereits fast aufgelöst, und die Zirruswolken schweben schon völlig unberührt darüber hinweg. Die Zyklonen befinden sich in dauernder Wanderung von Westen nach Osten; in 4—5 Tagen überqueren sie, von Amerika kommend, den Atlantik und wandern über Nordeuropa mit einer stündlichen Geschwindigkeit von 25—34 km hinweg und bedingen veränderliches Wetter (Abb. 374).

Die Heimat der Zyklonen liegt in den mittleren und höheren Breiten; in den Tropenzonen sind sie auf wenige Monate beschränkt, werden aber hier von gewaltigen Stürmen begleitet, nämlich von den Hurrikanen im Atlantik, den Taifunen in der chinesischen See und den Zyklonen im Indischen Ozean.

Im Gegensatz zu den kreisförmigen oder elliptischen Zyklonen und Antizyklonen stehen die Passate, die als von Osten nach Westen ziehendes Band für die tropische Zone typisch sind. Von den Hochdruckgebieten der gemäßigten Zone fließt zu dem Minimum der Tropengegend auf der Nordhemisphäre ein NO-Passat, auf der Südhemisphäre ein SO-Passat ab. Entgegengesetzt diesen Richtungen wehen in der Höhe die Antipassate. Das Wort passata bedeutet eigentlich Überfahrt: man benutzte die ständig wehenden Winde, um mit ihrer Hilfe zu segeln; ihr Gegenstück sind im Indischen Ozeane die ebenfalls jahreszeitlich wehenden Monsune (Mausim = Jahreszeit).

Außer den genannten gibt es nun noch eine Reihe von lokalen Winden. Zu ihnen gehören zunächst einmal die Land- und Seewinde. Da sich das Land am Tage schneller erwärmt als das Wasser, steigen die über ihm lagernden Luftschichten in die Höhe, und ein Nachschub kühler Luft setzt vom Meere aus ein. Gegen Abend gleichen sich die Temperaturen aus, dann beginnt der umgekehrte Vorgang: das

Meer gibt die Wärme langsamer ab als das Land, es ist also wärmer, und die über ihm befindliche Luft steigt auf, so daß jetzt kalte Luft als Landwind einströmen muß. Land- und Seewinde sind auf eine Zone von 20—30 km Breite beschränkt. Sie werden von den Fischern ausgenutzt, indem diese abends auf See fahren und mit dem Seewind in die Häfen zurückkehren.

Ihnen entsprechen im Gebirge die Berg- und Talwinde. Durch Erwärmung der Luftschichten an den Talhängen wird tagsüber ein Talwind (Steigungswind) hervorgerufen, den nachts ein Bergwind ablöst.

Wo kalte Hochflächen an warme Tiefländer oder an das Meer grenzen, können kalte Luftströme nach unten gerissen werden. Sie erwärmen sich beim Fall um einige Grade; da sie aber aus hohen Niveaus stammen, wirken sie wie kalte Stürme.

Phot. E. Vanhöffen.

Abb. 375. Wolken der Passatregion.

Solche Fallwinde sind der verheerende Mistral, der von den Cevennen herabstürzt, und die stürmische Bora, die von den Karsthöhen in die Adria einfällt.

Sehr verbreitet ist der Föhn, der keineswegs auf die Alpen beschränkt ist, sondern sich in vielen Gebirgen findet. Er ist ein warmer, austrocknender Wind, der im Frühjahr den Schnee schneller fortzaubert, als es die Sonne vermag, und deshalb häufig Anlaß zu großen Überschwemmungen gibt. Der Föhn entsteht, wenn sich an den Küsten Europas ein ausgedehntes barometrisches Tief befindet; die Luft wird in immer größerem Umfang abgesaugt und schließlich auch aus den Alpentälern herausgeholt. Als Ersatz strömt warme Luft von der Südseite her nach, die sich beim Herabfallen in die Täler und in das Vorland stark erwärmt und als warmer Wind in die Erscheinung tritt. Der Scirocco des Mittelmeergebiets ist ebenfalls ein Föhnwind.

Verheerend sind vor allem die Wüstenwinde, die als Samum, Chamsin (Ägypten) oder Harmathan (Oberguinea) bezeichnet werden und gewaltige Sand- und Staubmassen mit sich führen. Ihnen stehen in der Wirkung nicht viel nach die Schneestürme (Buran in Sibirien, Blizzard in Nordamerika genannt), die harte Schneenadeln mit sich führen, jedes Weiterkommen von Mensch und Tier unmöglich machen und ganze Ortschaften zerstören können.

C. Das Wasser in der Atmosphäre.

Land- und Wasserflächen, Pflanzen und Tiere entsenden dauernd Wasserdampf in die Atmosphäre. Je wärmer diese ist, um so mehr Wasserdampf vermag sie aufzunehmen (bei -10^0 2,3 g, bei $+30^0$ 30,1 g im Kubikmeter). Die Verdunstung steigt mit der Temperatur und steht im umgekehrten Verhältnis zum Luftdruck; in 1500 m Höhe enthält die Atmosphäre nur noch die Hälfte Wasserdampf, in 5000 m nur noch den zehnten Teil wie unten.

Wollen wir die Luftfeuchtigkeit verschiedener Gebiete vergleichen, so dürfen wir nicht die wirklichen Werte heranziehen, sondern die relativen, d. h. das Verhältnis der wirklichen Feuchtigkeit zu dem der jeweiligen Temperatur entsprechenden Maximum. Bei uns ist die Luft im Sommer absolut am feuchtesten, relativ am trockensten.

Die Luftfeuchtigkeit nimmt nach dem Innern der Festländer sowie nach der Höhe hin ab. Die Winde entführen den Wasserdampf und sorgen für seine Verteilung. Winde, die aus kalten Bezirken kommen, erscheinen als trocken, da die Feuchtigkeit sich mit der zunehmenden Temperatur immer mehr vom Sättigungspunkt entfernt, umgekehrt sind warme Winde, die in kalte Gebiete einfallen, feucht.

Wird nahezu gesättigte Luft auf diese Weise abgekühlt, so wird ein Teil des Wasserdampfes als flüssiges Wasser abgeschieden. Am Boden setzt sich der Tau oder im Winter der Reif (gefrorener Tau) ab. Regen bildet sich, wenn feuchte Luftmassen an Gebirgen anstoßen oder durch Aufsteigen sich abkühlen.

Der gasförmige Wasserdampf ist durchsichtig; kondensiert er sich zu kleinen Tropfen, so wird er trübe und bekommt eine weißliche Färbung. Größere Mengen solcher Wassertröpfchen ballen sich zu Wolken zusammen, die man, wenn sie sich in unteren Luftschichten finden, als Nebel bezeichnet.

Das Maß der Wolken bedingt die Bewölkung: in Berlin zählt man nur 30 ganz wolkenlose Tage im Jahre, am Nordrand der Sahara dagegen 264. Am meisten Bewölkung zeigen die Faröer und die britischen Inseln.

Wie sich aus den mikroskopischen Tröpfchen, die in der Luft schweben, die Niederschläge bilden, ist noch nicht vollkommen aufgeklärt. Man unterscheidet Regen, Schnee und Hagel; von ihnen ist der Regen am wichtigsten, da er nicht nur als geologischer Faktor an der Umformung der Erdoberfläche großen Anteil hat, sondern auch für das organische Leben unbedingt notwendig ist. Nach der Dauer und der Tropfengröße unterscheidet man den kurzen großtropfigen Platzregen, den etwas längeren, spärlichen Schauer, den ergiebigen Landregen (bzw. auf der See: Monsunregen) und den spärlichen, feintropfigen Nebelregen. Die beiden ersteren finden sich besonders in niedrigeren Breiten auf dem Festland und sind auf den Sommer und den Tag beschränkt, die anderen gehören mehr den höheren Breiten, dem Meere, dem Winter und der Nacht an.

Eine besondere Form stellen noch die durch elektrische Vorgänge ausgelösten Gewitterregen dar, die namentlich in der Tropenzone gewaltige Wassermengen der Erde zuführen.

Im Gegensatze zur Temperatur sind die Niederschläge starken örtlichen und jahreszeitlichen Schwankungen ausgesetzt. Dazu sind Messungen der Niederschläge

Abb. 376. Aufsteigende Wolken im Hochgebirge. Wildspitze, vom Ramoljoch gesehen.

außerhalb Europas und Amerikas bisher so spärlich vorgenommen worden, daß man nur einige Hauptgesetze abzuleiten vermag. Trotz der Abweichungen zwischen den Daten verschiedener Forscher steht es fest, daß mehr Niederschläge auf dem Meere als auf dem Lande zu verzeichnen sind, daß die südliche Hemisphäre deshalb regenreicher als die nördliche ist und daß die größten Niederschlagsmengen am Äquator niedergehen. Das besagt aber nicht, daß auch die Intensität des Regens hier die höchsten Werte erreicht, vielmehr sind die größten täglichen Regenmengen (bis 1000 mm) an der Grenze zur gemäßigten Zone beobachtet worden.

Während nun auf dem Meere die Niederschläge mit der höheren Breite abnehmen, machen sich auf dem Festland andere Einflüsse geltend, neben der Entfernung vom Meere vor allem auch die absolute Höhe über dem Meeresspiegel. Von Honolulu auf Hawaii hat man mit Recht behaupten können, daß jede Straße ihre eigene Regenmenge habe, steigt doch die Höhe der jährlichen Niederschläge von 612 mm am Strande bis 3650 mm in 260 m Höhe. Nach oben ist dann aber der Zunahme eine Grenze gesetzt, und die Niederschlagsmengen nehmen wieder ab. In Tibet schlagen die Nomaden ihre Winterlager oberhalb der Maximalzone in 4300 m Höhe auf, in den bayerischen Alpen liegt diese zwischen 600 und 1000 m.

Gebirge, die den regenbringenden Winden entgegenstehen, wirken als Klimascheiden; ihre Luvseite zeigt mehr Niederschläge als ihre Leeseite. Dies wird sehr deutlich im Harz, wo vor dem Brocken, in Wildemann, 1200 mm Regen, auf dem Brocken 1700 mm und dahinter, in Wernigerode, nur 670 mm Niederschläge gemessen werden.

Regenarm nennt man Zonen mit weniger als 250 mm jährlichen Niederschlägen, mäßige Niederschläge liegen zwischen 250 und 1000 mm, und alle höheren

Werte fallen in die regenreiche Zone. Diese letztere deckt sich mit den tropischen Gebieten, wo in der Äquatorgegend eine Trockenzeit überhaupt nicht eintritt. Besonders regenreich sind Ostindien und das Amazonasbecken, das ja auch von riesenhaften Strömen durchzogen und von üppigsten Urwäldern bedeckt ist. Dagegen ist das äquatoriale Afrika regenärmer; nur das Kongobecken weist das ganze Jahr hindurch reiche Niederschläge auf. Hier, wie im Amazonasgebiet, entstammt der Regen dem Lande, denn die Randgebirge lassen die Seewinde nicht in das Innere hinein.

In Südafrika, Australien und Amerika sind die Ostküsten niederschlagsreicher als die Westküsten; die höchsten Niederschlagsmengen finden sich aber in Indien, im Gebiete des Monsuns. Im östlichen Bengalen haben wir überall mehr als 2200 mm Regen, am meisten auf der ganzen Erde in Cherrapundji in 1250 m Höhe: hier fällt im Jahresdurchschnitt 11627 mm ($11^1/_2$ m) Regen!

In 20^0 N und S beginnt eine bis 32^0 reichende Zone, die dadurch ausgezeichnet ist, daß Regenreichtum die Ausnahme bildet. Selbst an den Küsten finden sich hier Wüstenstriche, und die Seewinde bringen wohl Nebel, nicht aber Regen. Auf der Nordhemisphäre liegen die Sahara und ganz Arabien im regenarmen Gürtel, und auch Amerika beherbergt in diesen Breiten große Trockengebiete.

Nördlich und südlich folgen dann die gemäßigten Zonen, die allmählich in die niederschlagsarmen Polargegenden übergehen. Auf der Südhalbkugel finden wir die gemäßigte Regenzone auf Neuseeland, in Tasmanien und in Südamerika. Die Westküsten sind gegenüber den Ostküsten bevorzugt.

In Nordamerika verhindert das hohe Faltengebirge die Entwicklung einer breiteren Regenzone, dafür schickt der Golf von Mexiko Regen in den östlichen Teil des Kontinents. In Europa können dagegen die Seewinde mit Ausnahme von Skandinavien Niederschläge weit ins Innere führen, dafür ist der ganze Osten Eurasiens regenarm: Ein Wüsten- und Steppengürtel zieht sich, unterbrochen von feuchteren Gebirgen, vom Atlantik bis nach China hin.

In Europa nehmen die Niederschläge mit der Entfernung von den Küsten des Atlantik und seiner Nebenmeere, des Mittelmeeres und des Pontus, ab. Die meisten Niederschläge weisen die westlichen Küstengebirge, die Alpen (Hermsdorf in Krain 3200 mm) und das dalmatinische Gebirge (Crkvice 4640 mm) auf. Der größte Teil Europas hat 500—700 mm Niederschläge, geschützte Teile, z. B. das rings abgeschlossene Böhmen, auch darunter. Am regenärmsten in Westeuropa ist der Südosten Spaniens, wo manchmal mehrere Jahre ohne anhaltenden Regen vergehen können. Auch auf der russischen Tafel gelangen durchschnittlich weniger als 500 mm Niederschläge auf die Erde.

Die Niederschläge wechseln in ihrem Ausmaß mit der Jahreszeit und bedingen neben der Wärmeverteilung die Periodizität der Flora. Der Sommer ist naturgemäß reicher an Niederschlägen als der Winter — wenigstens auf dem Lande, denn auf dem Ozean sind Winter und Herbst die Regenzeiten. Danach gibt es auf der Nordhemisphäre zwei Gebiete winterlichen Regens, eines im Atlantik und eines im Pazifik; auf der Südhemisphäre, die von einem einheitlichen Meer durchströmt wird, naturgemäß nur ein einziges. Das ozeanische Gebiet greift auf das

Festland über und zwar namentlich an den Westküsten; östlich des Mittelmeers bezieht es die großen Kontinentalstücke des Iran mit ein.

Die Schwankungen der Niederschlagsmengen ergeben sich aus der Differenz der größten und der kleinsten Monatsmenge. Unperiodisch nennt man jene Gebiete, in denen Maxima und Minima nicht an bestimmte Jahreszeiten gebunden sind, mäßig periodisch diejenigen, bei denen man nasse und trockene Jahreszeiten unterscheiden kann, und als streng periodisch bezeichnet man Zonen mit ziemlich auf den Monat festgelegten Maxima und Minima und mit deutlichen Trocken- und Regenzeiten. Als letzte Gruppe haben die regenarmen (unter 60 mm in jeder Jahreszeit) Gebiete zu gelten.

Wie die Regen, so nehmen auch die Gewitter mit zunehmender geographischer Breite an Häufigkeit ab, doch sind auch die Polargebiete nicht gänzlich frei von ihnen. Abessinien geht mit 424 Gewittern an 216 Tagen voran, in Mexiko erlebt man an jedem dritten Tage ein Gewitter. Hagel und Graupelschauer sind dagegen wieder in mittleren Breiten am häufigsten; in Europa nehmen sie, wie der Regen, von Westen nach Osten ab. Mehr noch als die Gewitter sind sie von örtlichen Einflüssen abhängig; allgemein läßt sich nur sagen, daß es in den Mittelgebirgen häufiger als im Hochgebirge und im Tiefland hagelt.

Von den festen Niederschlägen ist indessen der Schnee weitaus am verbreitetsten. Seine Südgrenze liegt in der Alten Welt jenseits des Atlas, allerdings weist noch Rom nur anderthalb Schneetage im Jahresdurchschnitt auf. Im fernen Osten wie in Amerika rückt die Südgrenze dagegen bis zum 23. Breitengrad vor. Auf der südlichen Halbkugel beginnt der Schnee bereits auf dem 50. Breitengrade, doch kommen hier, wie im Norden, in der wärmeren Jahreszeit auch Regenfälle vor. Gehen wir in die Höhe, so begegnen wir auch in der Tropenzone schneebedeckten Gipfeln, doch muß deren weiße Kappe der sommerlichen Wärme weichen. Selbst auf die höchsten Gipfel der Alpen fallen bisweilen flüssige Niederschläge, und nur die Berge der Antarktis und des grönländischen Inlandeises empfangen ausschließlich Schnee.

Die Höhenlinie, oberhalb welcher der Schnee niemals abtaut, wird als Schneegrenze bezeichnet; ihren Verlauf haben wir schon im geologischen Teil (S. 303) kennen gelernt. Dort sind wir auch auf die Lawinen und Gletscher eingegangen. Die aus den ins Meer tretenden Gletschern entstehenden Eisberge treten bis 35° in den Atlantik hinein und gefährden noch heute so stark die Schiffahrt, daß die Route zwischen Europa und Amerika zu gewissen Zeiten nach Süden verlegt werden muß (Tafel XXVIII).

D. Das Klima.

Unter dem Klima eines Ortes versteht man den mittleren Zustand der Atmosphäre, wie er sich aus jahrelangen Beobachtungen ergibt. Das Klima wird in erster Linie durch den Niederschlag und durch die Temperatur bedingt, dazu kommen als weitere Faktoren die Höhenlage des Ortes und der Einfluß der Winde.

Nicht jeder Ort auf der Erde hat sein besonderes Klima, sondern es lassen sich aus der Fülle der Erscheinungen so viel Übereinstimmungen feststellen, daß wir imstande sind, größere Klimaprovinzen zu unterscheiden.

Dabei wollen wir uns auf theoretische Betrachtungen nicht näher einlassen, sondern im Anschluß an Köppen die einzelnen Klimagürtel besprechen. Dies kann allerdings auch nur in großen Zügen geschehen, denn es würde den Rahmen dieses Buches sprengen, wollten wir auf die vielfältigen klimatischen Einzelheiten der Festländer und Meere eingehen.

Fünf Klimagürtel lassen sich unterscheiden: die tropischen Regenklimate, die Trockenklimate, die gemäßigt warmen Regenklimate, die borealen Klimate und die kalten, jenseits der Baumgrenze gelegenen Klimate.

a) Die tropischen Regenklimate.

Die Kennzeichen dieser Klimate sind hohe, selbst im kältesten Monat über 18° liegende Temperaturen und eine Regenmenge, die 660 mm im Jahr übersteigt und die mindestens in einem Monate besonders groß ist. Das Klima gestattet der Vegetation das ganze Jahr hindurch üppiges Wachstum, nur an gewissen Stellen tritt eine Trockenzeit im astronomischen Winter oder Frühling der betreffenden Halbkugel ein.

Der tropische Regenklimagürtel reicht an den Ostküsten der Kontinente bis zu den Wendekreisen, an den Westküsten geht er schon bei 4—16° nördlicher bzw. südlicher Breite in die Trockengebiete über. In der Vertikalen reicht der Gürtel bis etwa 1000 m Höhe hinan, in Sumatra sogar bis 1500 m.

Etwa 40% der gesamten Erdoberfläche werden von den tropischen Regenklimaten ausgefüllt. Hier herrscht gleichmäßige Temperatur mit einem Jahresdurchschnitt von 24—30°. Regen und Trockenheit sind dagegen ständigem Wechsel unterworfen, die Gebirge wirken auslösend oder behindernd ein. Die Regen kommen als starke Güsse zumeist zu bestimmten Tageszeiten auf die Erde nieder und sind häufig von Gewittern begleitet.

Die Winde sind in den tropischen Regenklimaten relativ konstant. Zwischen 0 und 10° nördlicher Breite findet sich eine 2—6° breite Zone von Windstille oder von schwachen, veränderlichen Winden, dann folgen Gürtel mit konstanten Winden, entweder mit den östlich wehenden Passaten oder mit den jahreszeitlich wechselnden Monsunen.

Der Übergang von der Nacht zum Tage geht sehr schnell vor sich. „Noch um $5^1/_4$ Uhr ist die Dunkelheit vollkommen, dann aber unterbricht hier und da ein Vogelruf die Stille der Nacht, wohl ein Zeichen, daß Spuren von Dämmerlicht am östlichen Horizont sich bemerkbar machen. Etwa um $5^1/_2$ Uhr bemerkt man den ersten Lichtschimmer, erst nimmt er langsam, dann so rasch zu, daß es um $5^3/_4$ Uhr fast taghell ist. Nun tritt die nächste Viertelstunde hindurch keine bedeutende Änderung ein, dann aber taucht plötzlich der Rand der Sonne auf und bedeckt die von Tau strotzenden Blätter mit goldglänzenden Perlen, schickt goldene Lichtstrahlen weithin in den Wald und weckt die Natur zu Leben und emsigem Treiben. Vögel zwitschern und flattern, Papageien kreischen, Affen schwatzen, Bienen summen, prachtvolle Schmetterlinge wiegen sich langsam in den Lüften oder sitzen mit ausgebreiteten Flügeln im belebenden Lichte; die erste Morgenstunde ist in den Tropen mit einem zauberischen Reize ausgestattet, den man nie vergessen kann" (Wallace).

Die Tage sind voll leuchtenden Sonnenscheins, der eine außerordentliche Lichtfülle um sich verbreitet; selten verdeckt einmal eine einzelne Wolke das Tagesgestirn. Die Hitze nimmt in den Vormittagsstunden dauernd zu, bis der mittägliche Regen oder, an den Küsten, die frische Seebrise abkühlend und erfrischend einwirkt.

Die große, nur um wenige Grade sich verschiebende Hitze macht die Menschen mürbe und läßt sie bei körperlichen wie bei geistigen Anstrengungen leicht ermüden. Manche Gebiete sind für die Weißen überhaupt nur vorübergehend bewohnbar, und ganz allgemein erfordert der Tropenaufenthalt einen häufigen Klimawechsel.

Nach den Regenmengen gliedert man das tropische Regenklima noch in Unterabteilungen.

Das tropische Regenwaldklima ohne Trockenzeit mit nur geringen Temperaturschwankungen beherbergt die immergrünen Urwälder mit ihrem Reichtum an Lianen und Epiphyten, die das ganze Jahr hindurch blühen und Früchte treiben. Nutzpflanzen sind Öl- und Sagopalme, Muskatnuß, Pfeffer, Kakao, Brotfruchtbaum. Die größte jährliche Regenmenge ist auf Hawaii mit 12,5 m gemessen worden. Dieses Klima finden wir zunächst in der Umgebung des Äquators; an den Ostküsten der Philippinen, Neuguineas, Brasilien, Guayanas, der Westindischen Inseln, Mittelamerikas und des Hawaii-Archipels verbreitert sich dieser Klimagürtel nach Norden und Süden zum Teil bis über die Wendekreise hinaus. In Ostafrika fehlt dieses Klima, da die Monsune der Küste entlang, nicht quer dazu, wehen.

Im Gegensatz hierzu steht das Savannenklima, das weniger als 250 cm Regen aufweist und eine ausgeprägte Trockenzeit besitzt. Die Savannen sind weite, offene Fluren, deren grasbedeckte Fläche hin und wieder von lichten, während der Trockenzeit laublosen Wäldern unterbrochen werden. Charakterbaum ist der Affenbrotbaum (Baobab); Nutzpflanzen sind Kaffee, Zuckerrohr, Bananen, Maniok, Hirse; eigentliche Urwälder treten nur an den Flüssen als sog. Galeriewälder auf.

Der Boden verwittert in diesen Gebieten zu rotem, unfruchtbarem Laterit, da der Humus durch die Regengüsse ausgelaugt wird. Die Haupttrockenzeit fällt in den Winter oder Frühling, eine kürzere läßt sich daneben noch im Sommer nachweisen.

b) Die Trockenklimate.

In den Trockengebieten muß die Vegetation einen großen Teil des Jahres in sog. Trockenruhe zubringen, denn die Regenzeit reicht für ein dauerndes Wachstum bei weitem nicht aus, obgleich die Gewächse zahlreiche Schutzeinrichtungen gegen die Trockenheit aufweisen. Nach jedem Regenguß blühen zahllose Blüten auf, aber bald setzt wieder, aus der Not geboren, ein langer, todesähnlicher Schlaf ein.

Von der leblosen Wüste an läßt sich eine ununterbrochene Reihe von Landschaftsformen über die Halbwüsten, Steppen bis zu den Oasen hin verfolgen.

Die Trockenklimate sind das Reich der Winde, die hier durch keinen Waldbestand an ihrer vollen Entfaltung gehindert werden und die sich durch zahlreiche Wirbel (Windhosen) auszeichnen. Die Winde führen das lockere Oberflächenmaterial mit sich fort, die vom Regen gelösten Bodensalze blühen, da sie nicht von Flüssen ins Meer geführt werden, an der Oberfläche aus: es entstehen Salzwüsten mit Salzbecken und -sümpfen.

Abb. 377. Landschaftsbild aus dem Wüstenklima. Wüstenlandschaft und Oase in Tunesien.

Die Trockenklimate gliedert man noch in einzelne Unterabteilungen.

Die heißen Wüsten mit Saharaklima sind fast ganz regenlos. Ihr Jahresmittel der Temperatur liegt über 18°, im wärmsten Monat über 26°. Die tägliche Temperaturschwankung ist sehr groß, so daß die Gesteine häufig zerspringen. Das feinste Material wird durch gewaltige Stürme oftmals weithin weggeführt. Die Vegetation ist sehr kümmerlich; nur in den Oasen, die ihr Wasser aus dem Untergrund beziehen, gedeihen Dattelpalmen und Gartenpflanzen (Abb. 377).

Als Espinal- oder Mezquitklima bezeichnet man ein Klima mit seltenen, aber heftigen Regengüssen und mit einer winterlichen Trockenzeit. Akazien, Kakteen, Agaven und harte Gräser, in Australien das als Skrub bezeichnete Gesträuch, sind Charakterpflanzen dieses Klimas, das bei zunehmender Feuchtigkeit in die Grasflur, mit wachsender Trockenheit in die Salzsteppe übergeht. In weiter Verbreitung findet sich dieses Klima in Mexiko und Argentinien.

Durch weitaus spärlicheren Regen und kühleren Winter unterscheidet sich von ihm das Tragantklima, genannt nach dem Tragantstrauch Astragalus Tragacantha. Wir finden es in den Steppen Kleinasiens, Irans und Mesopotamiens, sowie am Nordrand der Sahara, wo das technisch nutzbare Halfagras charakteristisch wird.

Das Aralklima ist das Klima binnenländischer kalter Wüsten, es findet sich in den asiatischen Steppen und im Gebiete des mittleren Colorado in Nordamerika. Während im wärmsten Monat Temperaturen von 20—30° erreicht werden, sinkt die Quecksilbersäule im kältesten Monat bis — 16° im Durchschnitt. Die Niederschläge sind gering, ermöglichen aber doch im Frühling eine kurze Vegetationsperiode. Im Winter sind Schneestürme häufig; berüchtigt ist der sibirische Buran.

Ebenfalls winterkalt, aber nicht so trocken wie das vorige ist das Prärienklima, das sich in eine Zone der Wüstensteppen und eine andere der Grassteppen

gliedert. Die ersteren treffen wir westlich vom nordamerikanischen Felsengebirge und an der nördlichen Küste des Schwarzen Meeres, die letzteren in der weiten nordamerikanischen Prärie und in der russischen Steppe. In dieser ist so viel Feuchtigkeit vorhanden, daß Weizen wachsen kann, zumal der Lößboden recht fruchtbar ist. Der Hauptregen fällt im Prärieklima zur Sommerszeit. Die Luft in diesem Klima ist trocken und durchsichtig, die Verdunstung geht also sehr schnell vor sich. Küstensteppen dagegen — so die in Südwestafrika und Peru — zeichnen sich durch Nebel aus.

c) Die gemäßigt warmen Regenklimate.

Diese besitzen keine kalte, sondern nur eine kühle Jahreszeit, in der das Thermometer je nach der geographischen Lage im Mittel zwischen 18° und — 3° schwankt. Schnee tritt zwar mitunter auf, doch bleibt er niemals lange liegen. Temperaturen und Regenmengen wechseln in dieser weit verbreiteten Zone häufig. Während Unteritalien durch regenreiche Winter und heiße Sommer ausgezeichnet ist, haben wir im chinesischen Gebiet (bei Schantung) sehr milde Winter und regenreiche Sommer. Während in Westeuropa das ganze Jahr hindurch ein gemäßigtes Klima vorherrschend ist mit durchweg mäßigen Niederschlägen, besitzen die tropischen Bergländer dieses Klimas ein dauerndes „Aprilwetter".

Drei Zonen lassen sich hier unterscheiden. Der Typus des Subtropenklimas zeichnet sich durch regenarme Sommer und feuchte, milde Winter aus; er ist ozeanisch und findet sich an den Küsten zwischen 33° und 44°. Im Mittelmeergebiet dringt er jedoch auch tief in die Kontinente ein. Im Winter fällt die Vegetation in eine kurze Kälteruhe, im Sommer in eine längere Trockenruhe. Dadurch ergeben sich zwei Vegetationszeiten, eine hauptsächliche im Frühjahr und eine weniger bedeutende im Herbst.

Nach der geographischen Verbreitung und dem Florenzustand gliedert man noch weiter in ein Olivenklima und ein Erikaklima. Das erstere wird gekennzeichnet durch Ölbäume, Feigen, Mandeln und Weinbau; wir treffen es an den Gestaden des Mittelmeers, wo es im Osten bis nach Persien hinaufsteigt, fernerhin im Innern von Kalifornien und von Westaustralien. Der Sommer ist sehr heiß, 22—28° beträgt die Durchschnittstemperatur im wärmsten Monat. Auf der südlichen Hemisphäre herrscht das Erikaklima vor; die Durchschnittstemperatur seines wärmsten Monats liegt weit tiefer, zwischen 14—22°. Das Kap der guten Hoffnung, Südaustralien, die Küsten von Chile und Kalifornien weisen das Erikaklima auf.

Das wintertrockene Klima treffen wir auf den Hochebenen Afrikas zwischen 8 und 22° südlicher Breite, in Nordindien, in Südchina, in Südbrasilien und Mexiko und im südlichen Teil von Queensland. Es zeigt viel Übereinstimmung mit dem tropischen Klima, unterscheidet sich aber von ihm durch die kühlere Jahreszeit, die es für den Weißen erträglicher macht als das eigentliche Tropengebiet.

Das feuchttemperierte Klima ist in gemäßigten Breiten das Klima der Ozeane und der Küsten. Es zeichnet sich durch feuchte Winde aus, die auch für die kurze Trockenzeit ausreichen. Vier Unterklimate hat man unterschieden: das virginische mit warmen Sommern, das die südöstlichen Vereinigten Staaten, das südliche Japan und die Ostküste Australiens umfaßt, zweitens das sommerkühle

Buchenklima mit einer Monatshöchsttemperatur unter 22°. Dies findet sich in Deutschland, Südchile, Neuseeland und ist durch Buchenwald charakterisiert. Als drittes gilt das laue Klima mit einer Mitteltemperatur des wärmsten Monats unter 22° und des kältesten über 10°. Es beherrscht namentlich die Ozeane; von Inseln gehören ihm an die Azoren und die Nordinsel von Neuseeland. Als letztes haben die feuchten isothermen Bergklimate der Tropen zu gelten, in denen sich die thermometrischen Mittel der wärmsten und kältesten Monate nur um 5° unterscheiden. In ununterbrochenem Zusammenhang verläuft ein Streifen dieses Klimas von einem Wendekreis zum anderen am östlichen Abhang der Anden Amerikas. Charakterbaum dieser Klimazone ist der Chinarindenbaum.

d) Die borealen Klimate.

Dieser Klimagürtel zeichnet sich durch einen echten Sommer und einen echten Winter mit Schneedecke aus. Die Schneeschmelze im Frühjahr bedingt eine genügende Durchfeuchtung des Bodens, die Sommerwärme reicht zur Bildung von Nadelholzwäldern und Laubwaldungen aus und gestattet die Kultur von Sommer-, im Süden auch von Wintergetreide. Der wärmste Monat weist 10°, der kälteste — 3° als thermometrisches Mittel auf. Boreale Klimate finden sich auf der südlichen Hemisphäre überhaupt nicht, auf der nördlichen nur auf den Kontinenten, nicht auf den dazwischenliegenden Meeren. Sie zeigen fast überall ein deutliches Überwiegen der Niederschläge während des Sommers. In der Hauptsache auf den nördlichen Teil Eurasiens und Nordamerikas beschränkt, dehnen sie sich doch südwärts bis zum Balkan und bis nach Nordchina aus. Die Bäume dieses Klimas zeigen eine deutliche Winterruhe, es sind Stieleiche, Erle, Ulme, Haselnuß, Esche, Weiß- und Schlehdorn, die ihre Nordgrenze am Finnischen Meerbusen und an der mittleren Wolga haben. Von Kulturpflanzen gedeihen hier Weizen, Winterroggen und Buchweizen. Nordwärts folgt auf dieses Eichenklima das Birkenklima, in dem nur während 4—1 Monat die Temperaturen höher als 10° sind.

Je weiter wir nach Norden vordringen, um so länger bleibt die winterliche Schneedecke und der Bodenfrost erhalten. Schließlich vermag die Sommersonne das Eis nicht mehr aufzutauen, der Boden bleibt als Bodeneis dauernd gefroren. In Irkutsk geht das Bodeneis bis 186 m Tiefe hinab und taut während der wärmeren Jahreszeit nur bis 1 m unter der Oberfläche auf. Aber dies genügt doch noch, um Birken- und Lärchenwälder gedeihen zu lassen, und selbst Getreide kann noch in bescheidenem Umfang angebaut werden.

Die Flüsse des borealen Klimagürtels sind im Winter zugefroren, und zwar mindestens 80 und längstens 240 Tage. Die mittlere Eisbedeckung von 150 Tagen findet sich auf einer von über St. Petersburg, Kasan und Semipalatinsk verlaufenden Linie. Beim Auftauen gibt es große Überschwemmungen; steigt doch das Wasser der Wolga bei Samara während des Mai um 12 Meter.

e) Die kalten Klimate jenseits der Baumgrenze.

Hierzu gehören jene Klimate, in denen die Isotherme des wärmsten Monats unterhalb von 10° liegt. Diese Isotherme befindet sich auf den Kontinenten etwa bei 70° Breite, geht aber auf den Meeren bis 50°, auf der südlichen Halbkugel

sogar bis 44° hinab. Sie entspricht ungefähr der Grenze des Baumwuchses, der natürlich nur allmählich aufhört, nachdem die Bestände immer lichter und seltener geworden sind.

Feldbau ist in den kalten Klimaten unmöglich. Die Bewohner ernähren sich von der Jagd, von der Viehzucht und vom Fischfang, bis in den höchsten Breiten das Klima einen dauernden Aufenthalt überhaupt nicht mehr zuläßt. An geschützten Stellen des südlichen Bezirks zieht der Baumbestand in den Flußtälern noch ein Stück nordwärts, sonst herrscht die Tundraformation mit Moosen und Flechten vor, die dann allmählich von der Schneedecke eingehüllt wird.

Kalte Klimate finden sich überall auf der Erde, sie unterscheiden sich aber trotz gleicher Temperaturverhältnisse durch Unterschiede im Luftdruck, in der Verdunstung und in den Niederschlägen so stark voneinander, daß man zu einer Gliederung in vier Abteilungen schreiten muß.

Die erste Abteilung umfaßt die Klimate der Küsten des nördlichen Eismeers mit kaltem Winter und kurzem, beständigem Sommer. Der Temperaturunterschied der extremen Monate beträgt 20—60°, je nach der geographischen Lage. Die zweite entfällt auf die Antarktis; einer geringen jährlichen Schwankung von 4—15° stehen große ungesetzmäßige Schwankungen gegenüber. Regen- und Schneeböen sind häufig.

Die Klimate der *kontinentalen Hochländer*, etwa von Pamir, zeigen wiederum große jährliche Unterschiede und geringe Niederschläge, und das *alpine Klima* isoliert liegender Gebirge zeichnet sich schließlich durch geringe Jahresschwankung und reichliche Niederschläge aus.

Wo der Boden auch nur zeitweise oberflächlich vom Schnee befreit wird, keimt pflanzliches Leben auf, das selbst bei 72° südlicher Breite noch in Spuren gefunden wurde.

III. Das Meer.

A. Die Meeresräume.

Von den Gewässern auf unserer Erde nehmen die Meere den weitaus größten Teil ein. Während das auf und in den Festländern kreisende Wasser sich in zahllosen einzelnen Gewässern — Bächen, Flüssen, Seen — verteilt, bilden die Meere eine einheitliche, zusammenhängende Masse.

Die Gesamtmenge des Meereswassers hat man zu 1336 Millionen Kubikkilometern berechnet; der durch die Verdunstung bedingte Verlust wird durch die einmündenden Flüsse wieder ausgeglichen.

Wie wir schon früher (S. 93) gehört haben, nimmt der Wasserspiegel die Gestalt des Geoids an, sofern man von den Störungen absieht. Diese werden durch Winde hervorgerufen, welche die Wellen hoch aufzutürmen vermögen, durch Ebbe und Flut oder durch ungleiche Erwärmung des Wassers. Um diese lokalen Schwankungen auszuschalten, berücksichtigt man bei Messungen nur den mittleren Stand, wie er sich an den *Pegeln* oder *Mareographen* abzeichnet.

Das Mittelniveau der einzelnen Ozeane differiert um wenige Zentimeter: die nördlichen Meere liegen etwa 10—20 cm über dem Spiegel des Mittelmeers.

Immerhin sind dadurch Unstimmigkeiten bei Höhenbestimmungen gegeben, für die man als Ausgangspunkt das Mittelwasser nimmt. Man benutzt deshalb in Deutschland jetzt als Grundlage das „Normal Null" (NN), das 37 m unter dem Normalhöhenpunkt der Berliner Sternwarte liegt.

Übrigens unterliegt das Mittelwasser in kleineren Meeren und an der Küste auch noch periodischen Schwankungen. Schneeschmelzen im Frühjahr, Regenzeiten im Sommer lassen den Wasserspiegel ansteigen, starke Verdunstung (z. B. im Mittelmeer zur Sommerzeit) läßt ihn sinken.

Läßt sich die horizontale Verbreitung der Meere durch die Küsten ohne weiteres bestimmen, so bedarf man, um sich über die vertikalen Ausmaße orientieren zu können, besonderer Meßapparate. Für geringere Tiefen verwendet man die Lotleine, eine mit einem Gewicht beschwerte Leine; je größer die zu messenden Tiefen sind, um so schwieriger gestaltet sich die genaue Messung, da man einerseits den Reibungswiderstand des Wassers zu berücksichtigen hat, andererseits den Augenblick des Auftreffens des Gewichtes auf den Boden genau abpassen muß. Für Tiefseelotungen verwendet man deshalb ziemlich komplizierte Apparate, die an einem Klaviersaitendraht in die Tiefe gelassen werden. Bei sehr großen Tiefen sind die Gewichte so befestigt, daß sie sich beim Aufstoßen von selbst ablösen, so daß das Hinaufziehen des Lotes erleichtert wird. Besondere Vorrichtungen erlauben gleichzeitig die Mitnahme von Bodenproben aus dem Untergrund. Jede Tiefseemessung erfordert viel Zeit und ist auch in diesem Falle mit dem Verlust des Gewichtes, das bis 100 kg schwer ist, verbunden; es ist deshalb verständlich, daß selbst auf wissenschaftlichen Expeditionen die Zahl der Tiefseemessungen beschränkt sein muß. Wir erhalten nur Stichproben, aus denen man sich ein Bild der Meerestiefen bzw. des Meeresbodens machen muß. So kommt es auch, daß die größten Tiefen erst spät gefunden wurden. Lange Zeit hindurch galt die Tiefe von 8573 m an der japanischen Ostküste als höchster Wert. Dann erst wurden die großen Senken im Pazifischen Ozean entdeckt: der Kermadekgraben bei Neuseeland mit 9427 m, der Marianengraben nördlich der Karolinen mit 9636 m. Im Jahre 1912 wurde noch eine tiefere Senkung festgestellt: im Philippinengraben wurden 9780 m gelotet, rund 1000 m mehr als die höchste Erhebung des Festlands beträgt.

Wie man die gleichen Höhen der Kontinente mittels Isohypsen kartographisch verbunden hat, so hat man auch Karten mit Isobathen, also mit Linien gleicher Meerestiefe entworfen. Es braucht nicht besonders betont zu werden, daß es sich bei der geringen Anzahl von Lotungen, auf die sich solche Karten stützen, nur um Versuche handeln kann, die nicht mehr als grobe Annäherungen an die tatsächlichen Verhältnisse bedeuten.

Immerhin lassen sie erkennen, daß auf dem Meeresgrund die weiten, ebenen Flächen vorherrschen und eigentliche Gebirge durchaus fehlen. Wohl erheben sich einzelne vulkanische Kegel oder Korallenriffe, doch sind diese räumlich beschränkt. Über weite Erstreckungen hinweg verlaufen dagegen breite untermeerische Plateaus, die mit nicht allzu steilen Rändern seitlich abfallen oder flachere Bodenschwellen.

Diesen Großformen stehen die Kleinformen gegenüber, die man als Rücken oder, falls sie sich dem Meeresspiegel nähern, als Bänke und Kuppen bezeichnet. Manchmal erreichen diese solche Höhe, daß sie eine Gefahr für die Schiffe bedeuten

können. Solchen Riffen und Gründen wird deshalb auf den Seekarten eine besondere Aufmerksamkeit zugewendet.

Zwischen den Gründen liegen Furchen und Kessel, die Schwellen und Plateaus werden durch Becken oder Mulden unterbrochen. Fällt ein Plateau steil ab, so bilden sich Gräben und Rinnen, deren tiefste Stellen man als „Tief" bezeichnet.

Da die Kleinformen durch die exogenen Kräfte herausmodelliert werden, die im Wasser fehlen, herrschen hier die Großformen durchaus vor. Nur in der Küstennähe und in den schmalen Meeresstraßen machen sich Umgestaltungen geltend, sonst findet nur überall eine allmähliche, aber stetige Auflagerung von Material statt. Trotzdem fehlt es sicherlich nicht an tektonischen Vorgängen, wie ja auch untermeerischer Vulkanismus häufig ist.

Eine Steilstufe begleitet die Kontinente, wie wir schon früher gehört haben, und trennt die Flachsee von der Tiefsee ab. Der Meeresboden, welcher von der Flachsee überdeckt wird, heißt Schelf; er ist ziemlich eben und an die Isobathe von — 200 m im Durchschnitt gebunden, kann aber schon bei 50 m oder erst bei 400 m mit steiler Böschung zur Tiefsee abfallen.

Der Schelf gehört eigentlich dem Festland an, er hat sich an Steilküsten häufig aus der Brandungsterrasse gebildet, die vom Meere überschwemmt wurde; an Flachküsten lassen noch Flußrinnen und Kleinformen die Formen eines früheren festen Landes erkennen.

Die Neigung des Kontinentalabhangs beträgt durchschnittlich 4—5°, dies entspricht auch der Böschung unserer Gebirge gegen die Ebene, obgleich man diese vor einer Prüfung auf der Karte wohl höher ansetzen möchte. Die Tiefsee ist dann wieder sehr flach gelagert, und in ihren weiten Becken sind nun die einzelnen langgestreckten Gräben eingesenkt, die entlang verschiedenen Kontinentalrändern verlaufen.

Die drei großen Ozeane Atlantik, Pazifik und Indik hat man nun noch gegliedert. Stoßen Festlandsstücke in einem Winkel zusammen, so entstehen Meerbusen oder Buchten (Golfe), die den Halbinseln der Kontinente entsprechen. Die meisten Buchten liegen auf dem Schelf, einige sind aber von tiefem Wasser erfüllt. Zu den letzteren gehören der Golf von Guinea an der afrikanischen Küste, der Arabische und der Bengalische Golf an der westlichen bzw. östlichen Küste Vorderindiens, die mit breiter Fläche in die Ozeane übergehen.

Da die Küste selten glatt verläuft, sind Meerbusen oder Golfe natürlich sehr häufig; an der Ostseeküste unterscheidet man noch Bodden und (auf Rügen) Wieke.

Setzen sich Festlandsstücke weit hinein ins Meer fort oder bildet eine Inselreihe die Fortsetzung des Festlandes, so werden dadurch Teile des Ozeans zu sog. Nebenmeeren abgegliedert. Zwischen diesen und den Buchten gibt es natürlich zahlreiche Übergänge, und so ist es erklärlich, daß auch beide Bezeichnungen für ein und denselben Meeresteil im Umlauf sind. Wird doch, um nur ein Beispiel zu nennen, das Rote Meer auch Arabischer Golf genannt.

Treten zwei Küsten auf längere Strecken nahe aneinander, so schließen sie ein Zwischenmeer ein, wie es uns im Skagerrak, im Kattegat oder im Kanal vor Augen tritt; ist die Annäherung nur auf einige Vorsprünge beschränkt, so werden Meeresstraßen oder Meerengen gebildet.

Die Nebenmeere sind zumeist dadurch entstanden, daß das Meer über einstiges Festland hinwegging. Dies kann auf zweierlei Weise geschehen. Einmal dadurch, daß flache Festlandsstücke vom Meere überschwemmt wurden: das ergibt die Überspülungs- oder Transgressionsmeere; ein anderes Mal dadurch, daß Festlandsstücke infolge tektonischer Vorgänge in die Tiefe sanken: dadurch bildeten sich Einbruchs- oder Ingressionsmeere. Der Boden der Nebenmeere gehört dem Kontinentalsockel an; je nachdem, wie breit die Verbindung der Nebenmeere mit dem Ozean ist, wird auch ihre Selbständigkeit eine verschieden große sein. So werden einige Nebenmeere auch als Golf bezeichnet, z. B. der Kalifornische Golf oder der St.-Lorenz-Golf, die wirkliche Nebenmeere sind.

Man hat nun die Nebenmeere wiederum nach ihrer Lage zu den Festländern in Rand- und in Mittelmeere geschieden. Die letzteren finden sich zwischen den Kontinenten eingebettet. Vier solcher Mittelmeere finden sich auf der Erde. Das nördliche Eismeer liegt zwischen Nordamerika und Eurasien, das amerikanische Mittelmeer zwischen Nord- und Südamerika, das europäische Mittelmeer zwischen Eurasien und Afrika und das australische zwischen Asien und Australien. Auch das Rote Meer ist in seiner Lage zwischen Afrika und Asien ein Mittelmeer, doch trifft hier mehr der Charakter eines Golfes zu.

Im Gegensatz zu den Mittelmeeren lehnen sich die Randmeere den Kontinenten an und werden von den Ozeanen, deren Nebenmeere sie sind, nur durch Halbinseln und Inseln mehr oder weniger vollkommen abgetrennt. Typische Randmeere finden sich in Ostasien (Japanisches Meer, Gelbes Meer, Ost- und Südchinesisches Meer), aber auch die Arafurasee und der Carpentaria-Golf sind als solche aufzufassen. In Nordamerika gehören der St.-Lorenz-Golf, in Europa die Irische See und die Nordsee zu den Randmeeren. Besonders stark in Festlandsmassen hinein treten die Randmeere der Ostsee und der nordamerikanischen Hudsonbai, die man deshalb auch als Binnenrandmeere von den anderen abgetrennt hat.

Diese treten aber gegenüber den anderen Randmeeren und den Mittelmeeren auch an Flächeninhalt stark zurück. Und auch die Gesamtheit der Nebenmeere bedeutet nur einen Bruchteil von der Fläche der großen Ozeane, beträgt sie doch selbst für den Atlantik, dem drei Mittelmeere und das nördliche Eismeer angehören, nur ein Drittel, für den Pazifik nur $^1/_{12}$. Auch die durchschnittlichen Tiefen sind weit geringer als in den Ozeanbecken, wie man aus folgenden beiden Tabellen entnehmen kann:

	Größe	Mittlere Tiefe
Die vier Mittelmeere	30 Mill. qkm	1300 m
Die echten Randmeere	8,1 „ „	1000 „
Die Binnenrandmeere (einschl. des Persischen und des Roten Meeres)	2,3 „ „	180 „
	40,4 Mill. qkm	1200 m

Großer Ozean	180 Mill. qkm	3850 m
Atlantischer Ozean	105,4 „ „	3300 „
Indischer Ozean	75 „ „	3900 „

Die genannten mittleren Tiefen sagen natürlich nichts über die Bodengestaltung in den einzelnen Ozeanen aus, der wir uns jetzt noch kurz zuwenden wollen.

Am besten bekannt ist der Atlantik. Er wird durch die atlantische Bodenschwelle in zwei Teile gegliedert. Diese beginnt als Challengerrücken bei der Insel Tristan da Cunha und verläuft bei einer durchschnittlichen Tiefe von weniger als 3000 m bis zum Äquator. Hier wird sie durch eine Senke unterbrochen und zieht dann bis zum nördlichen Wendekreis nach Nordwesten und dann als nordatlantische Schwelle nach Nordosten (sog. Azorenplateau). Zu beiden Seiten liegen die großen atlantischen Mulden. Im Süden beginnen sie mit der großen Ostatlantischen Mulde, die bis zum südlichen Wendekreis reicht und über 5000 m tief ist. Nördlich davon, durch einen Querrücken getrennt, folgt das westafrikanische Becken, das sich in die bis nach Portugal reichende nordafrikanische Mulde fortsetzt.

Auf der westlichen Seite des Challengerrückens haben wir ebenfalls ein Polares Becken, dann ein von 30° südlicher Breite bis zum Äquator reichendes Brasilianisches Becken mit Tiefen bis zu 6000 m, und ein Nordatlantisches Becken, das durch Bodenschwellen in kleine Becken gegliedert ist und das sich im Norden in das Labradorbecken und in die Baffinsbai fortsetzt. Im östlichen Bezirk des Nordatlantik zieht der breite Isländische Rücken von Grönland über Island nach Schottland hinüber. Er reicht bis 500 m unter den Meeresspiegel hinauf und verhindert auf diese Weise den Zutritt des kalten Polarwassers nach Süden.

Das nördliche Eismeer selbst besteht aus zwei bis 3600 m tiefen Becken. Im Süden breitet sich zwischen Norwegen und Grönland das Europäische Nordmeer aus; ihm steht längs der asiatischen Nordküste ein breiter Graben gegenüber, der durch eine Schwelle vom Nordmeer und durch einen breiten Schelf vom Kontinent getrennt ist.

Im Indischen Ozean haben wir ein weites ebenes Gebiet von durchschnittlich 4000 m Tiefe vor uns, das aber im östlichen Teil zwei tiefere Becken, das nördliche Sundabecken mit dem Sundagraben und ein südliches, bei Australien liegendes Hauptbecken enthält, von denen das letztere wieder durch den Tschagosrücken und die Maskarenenschwelle in zwei Teile geteilt wird. Auch im Süden des Indiks finden sich noch einige über 5000 m tiefe Becken, während Madagaskar durch eine Schwelle mit dem afrikanischen Festland verbunden ist.

Im Pazifischen Ozean senkt sich der Boden allmählich von Südosten nach Westen und Nordwesten. An der Küste von Peru liegt ein Becken mit dem 7600 m tiefen Atakamagraben, dann folgt aber eine Schwelle, die westlich wie nördlich von tieferen Becken begrenzt wird. Am Kontinentalabfall liegen die großen Senken des Kermadec- und des Tongagrabens. Im nördlichen Pazifik sind die Hawaii-Inseln einer hohen Schwelle aufgelagert, in den tieferen Teilen treffen wir wieder auf sehr tiefe Gräben, so den Aleutengraben mit 7400 m, die japanische Senke mit der Tuscaroratiefe (8500 m) und als die tiefsten Einschnitte der Mariannengraben (9636 m) und Philippinengraben (9780 m).

Was schließlich die Antarktis anbelangt, so scheint sich in ihrem westlichen Teil Meer zu befinden, da sich Atlantik und Indik in über 5000 m tiefen Senken weit über den Polarkreis fortsetzen.

Die ozeanographischen Untersuchungen haben gezeigt, daß der Meeresboden

nur an sehr wenigen Stellen aus festem Gestein besteht. Ablagerung, nicht Abtragung ist eben die geologische Wirkung des Meeres, und nur in der Nähe der Küsten oder in engen Meeresstraßen vermögen die Wellen und Gezeiten das lockere Material hinwegzuräumen. In den eigentlichen Meeresgebieten treffen wir also Sedimente der verschiedensten Form an: dem Lande und dem Wasser entstammende, kalkige und tonige, organische und chemisch gebildete. Über die Zusammensetzung und Verbreitung dieser Sedimente haben wir in einem früheren Teil schon gesprochen, als wir die geologische Tätigkeit des Meeres behandelten.

B. Das Wasser des Meeres.

Die chemische Analyse des Meerwassers ergibt, daß das Oberflächenwasser der freien Ozeane ungefähr 3,5% fester Bestandteile aufweist. 32 Elemente sind im Meerwasser nachgewiesen worden, die zum kleinen Teil auf die beigemengten Gase, zum größeren auf die sog. Salze entfallen, von denen wiederum das Kochsalz das wichtigste ist. Wenn das gesamte Wasser aller Meere verdunsten würde, dann bliebe als Rückstand auf dem Grund eine 61 m hohe Schicht von Salzen übrig.

Der Salzgehalt des Meerwassers wechselt zwar in den verschiedenen Meeren, er ist aber in den einzelnen Tiefenstufen sehr konstant, wie man aus zahlreichen Wasserproben verschiedenster Tiefen entnehmen konnte. Die Salze verteilen sich folgendermaßen:

Kochsalz ($NaCl$)	27,2 g in 1000 g Wasser
Chlormagnesium ($MgCl_2$) . . .	3,8 g
Bittersalz ($MgSO_4$)	1,6 g
Gips ($CaSO_4$)	1,3 g
Kaliumsulfat (K_2SO_4)	0,9 g
Kohlensaure Salze	0,2 g
	35,0 g in 1000 g Wasser.

Das Kochsalz überwiegt also bedeutend, und die kohlensauren Salze (vor allem der kohlensaure Kalk) treten sehr stark zurück, ganz im Gegensatz zu den Verhältnissen im Süßwasser. Der Salzgehalt kann also nicht dem Festland entstammen, sondern ist den Meeren schon seit der ozeanischen Periode (vgl. S. 334) eigen. Er bildete sich jedenfalls aus den Gesteinen — genau wie der Wasserdampf — bei der allmählichen Abkühlung der Erde und nahm an Menge allmählich im gleichen Verhältnis zu, wie sich die Menge des Meerwassers im Laufe der Erdgeschichte verringerte.

Im Meerwasser gehen nun laufend große chemische Umsetzungen vor sich. Die zahllosen Lebewesen bilden, wenn sie verwesen, Schwefelwasserstoff. Dieser setzt sich mit dem im Wasser gelösten Sauerstoff zu Schwefelsäure um, welche ihrerseits den kohlensauren Kalk in schwefelsauren Kalk (Gips) umsetzt. Der Gips wird von den Pflanzen aufgenommen und zu organischen Kalksalzen umgewandelt. Die Tiere, welche jene Pflanzen direkt oder indirekt aufnehmen, bauen dann aus diesem Material ihre Skelette und Panzer auf.

Außer den festen Bestandteilen enthält das Meerwasser noch Gase. Die oberflächlichen Schichten nehmen atmosphärische Luft auf, und zwar um so mehr, je niedriger die Temperatur ist. Dabei wird aber der Sauerstoff leichter absorbiert als der Stickstoff: gegenüber dem Verhältnis von Sauerstoff zu Stickstoff von rund 21 : 78 in der Luft, beträgt das Verhältnis dieser Gase in der in den oberen Meeresschichten gelösten Luft 33—35% Sauerstoff zu 65—67% Stickstoff. Dies ist für das Leben im Meere von großer Wichtigkeit und erklärt es auch, daß das kalte Oberflächenwasser stets besonders reich an Fischen und Planktonlebewesen ist.

Phot. American Colony, Jerusalem.

Abb. 378. Der hohe Salzgehalt des Toten Meeres verhindert das Untersinken des menschlichen Körpers.

Infolge der gelösten Salze ist das spezifische Gewicht des Meerwassers höher als das des Süßwassers. Während ein Liter destillierten Wassers (bei 4°) bekanntlich 1000 g wiegt, beträgt das Gewicht eines Liters Meerwasser 1024—1028 g.

Der Salzgehalt schwankt in den großen Ozeanen zwischen 31 und 38‰. In Nebenmeeren, in denen die Verdunstung sehr groß ist und nicht durch Zufluß aus den Weltmeeren ausgeglichen werden kann, nimmt der Salzgehalt noch beträchtlich zu. Im Mittelmeer finden wir über 37‰, im nördlichen Roten Meer sogar 41‰. Wo viele Flüsse einmünden, sinkt anderseits der Salzgehalt, so im St.-Lorenz-Golf auf 30,5‰, im Schwarzen Meer auf 17—18‰. Am deutlichsten wird die Abnahme des Salzgehaltes in der Ostsee; im Westen rund 12‰ ausmachend, sinkt er im Osten und im äußersten Norden auf 3—4‰, so daß die Ostsee mehr und mehr den Charakter eines brackischen, ja eines Süßwassergebietes annimmt, was auch in der Zusammensetzung von Flora und Fauna zum Ausdruck kommt.

Das Wasser des Meeres ist mehr oder weniger durchsichtig. Im günstigsten Fall mögen die letzten Lichtstrahlen der Sonne bis zu 100 m Tiefe eindringen, ihre chemisch wirkenden Strahlen machen sich aber noch viel tiefer bemerkbar. Mit der Durchsichtigkeit steht die Farbe des Wassers in engem Zusammenhang. Die roten und gelben Strahlen des Lichtes werden schnell vom Wasser absorbiert, deshalb erscheint dieses blau oder grün. Die Ozeane zwischen 40° nördlicher und südlicher Breite zeichnen sich durch blaues Wasser aus. Kobaltblau sind die Sargossasee und die südlichen Teile des Indischen und Atlantischen Ozeans zwischen 10 und 30° südlicher Breite. Je weiter wir nach den Polen zu wandern, um so mehr

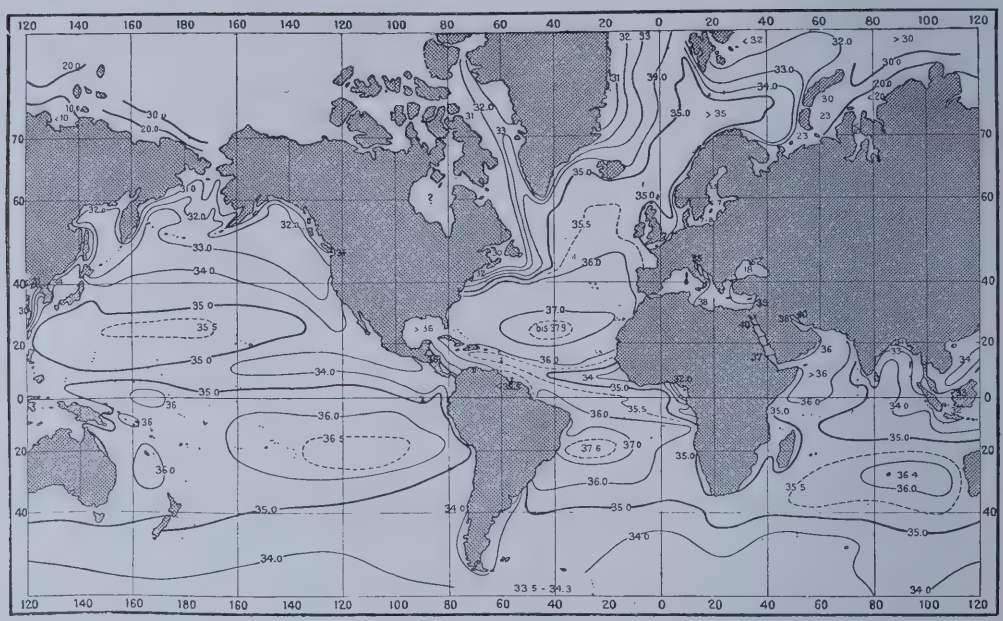


Abb. 379. Verteilung des Salzgehaltes der Meeresoberfläche in Promille (n. Schott).

nimmt das Wasser eine grünliche Färbung an. Dieses Grün hängt im wesentlichen von zahlreichen im Wasser schwebenden Pflanzen ab, während Blau die Farbe des ganz reinen, unbelebten Wassers, die „Wüstenfarbe des Meeres" ist. Blau ist die Naturfarbe des Wassers; Verfärbungen sind durch Beimengungen fein verteilter Mineralstoffe zu erklären. Sind diese in großer Menge vorhanden, so verursachen sie oft eine Mißfärbung des Wassers, die bisweilen sogar Anlaß zur Benennung ganzer Meeresteile gegeben hat. Das Gelbe Meer verdankt seine Färbung den gelben Lößmassen, die der Hoang-ho aus China hineinführt, im Roten Meer finden sich vielfach rotgefärbte mikroskopische Tierchen. Die Namen Schwarzes und Weißes Meer haben übertragene Bedeutung; der erstere soll auf die Unwirtlichkeit hinweisen, der zweite soviel wie heiliges Meer im Hinblick an einen alten Wallfahrtsort bedeuten.

C. Die Temperaturen des Meeres.

Die Oberflächentemperatur des Meerwassers ist im allgemeinen etwas höher als die Temperatur der darüber lagernden untersten Luftschichten. Für warme Strömungen gilt dies stets, für kalte wenigstens im Winter. Ist auch der Unterschied im Jahresmittel nicht besonders hoch, so kann er doch für gewisse Jahres- und Tageszeiten beträchtliche Werte annehmen. Eine Übersicht über die Isothermen des Oberflächenwassers im Atlantik gibt die Kartenskizze; man erkennt aus ihr, daß nicht nur die geographische Breite, sondern auch Meeresströmungen eine Rolle spielen, denn die Isothermen rücken an gewissen Stellen dicht aneinander und biegen an anderen weit nach Norden vor.

Da Wasser sich langsamer als Luft erwärmt, die aufgenommene Wärme dafür

Eisberge über und unter dem Wasser im Atlantik.
(Nach einem Aquarell von Hans Steiner.)

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

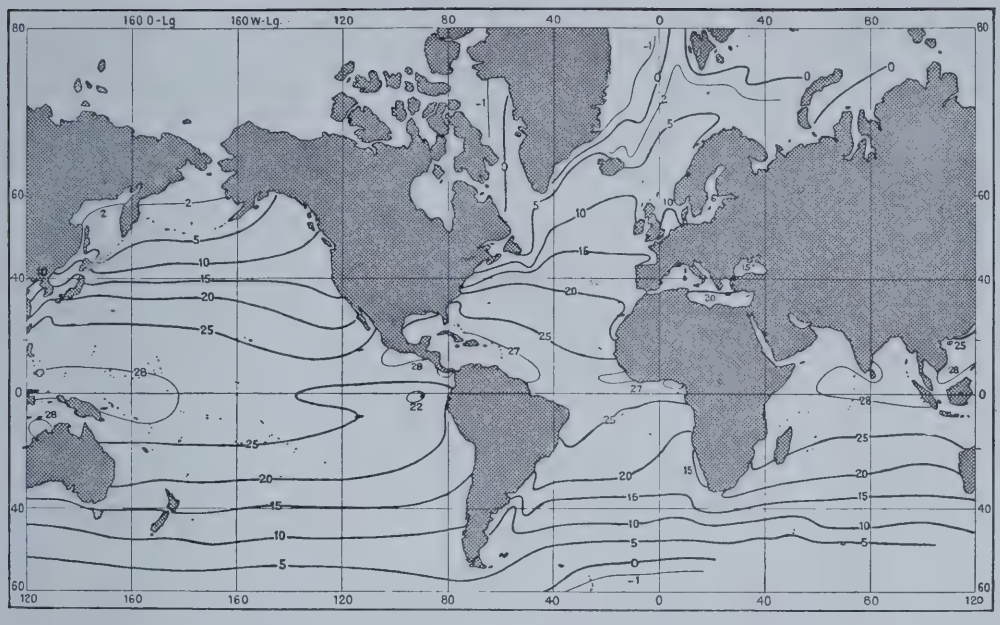


Abb. 380. Die Wassertemperatur der Meeresoberfläche im Jahresmittel in Celsiusgraden (n. Schott).

aber auch nicht so leicht wieder abgibt, schwanken die Isothermen des Oberflächenwassers in engeren Grenzen als diejenigen der Luftschichten. Während die Differenz der Extremwerte der Lufttemperatur fast 100° beträgt, unterscheiden sich Maximal- und Minimaltemperaturen des Meerwassers nur um 39°. Die größten Schwankungen treffen wir dort an, wo warme und kalte Strömungen zusammenkommen oder wo Festland in der Nähe ist und seinen Einfluß auszuüben vermag. Am gleichmäßigsten verhält sich die Temperatur, wenn beide Einflüsse fast ganz ausgeschaltet sind, also in den mittleren südlichen Breiten.

Berücksichtigt man die durchschnittlichen Jahresschwankungen, so ist der Pazifik mit einer Oberflächentemperatur von 19,1° der wärmste Ozean; es folgen der Indik mit 17,0° und der Atlantik mit 16,9°. Dabei ist die nördliche Halbkugel durchaus der südlichen gegenüber bevorzugt, wie die folgenden Zahlen erweisen:

	Atlantik	Indik	Pazifik	Gesamtmeer
Nördlich des Äquators	20,1°	27,5°	22,2°	19,2°
Südlich des Äquators	14,1°	15,3°	16,8°	16,0°
Mitteltemperatur	16,9°	17,0°	19,1°	17,4°

Die Mitteltemperatur des Gesamtmeeres beträgt also 17,4°.

Die jährlichen Schwankungen ergeben sich aus der Gegenüberstellung der wärmsten und kältesten Monate, und hierbei treffen wir ebenfalls auf sehr wesentliche Unterschiede. In der Region der tropischen Windstillen, also in einem Bezirk von rund 16 Millionen Quadratkilometer Größe, schwankt die Wassertemperatur im Laufe des Jahres nur um 1°, polwärts erhöht sich die Jahresschwankung allmählich, um in etwa 40° Breite ihren Höhepunkt zu erreichen. Die Schwankungen betragen

Phot. E. Philippi.

Abb. 381. Gedrehtes Scholleneis nahe der Außenkante des Südpolarkontinents (sog. Pfannkucheneis).

aber auch hier im offenen Weltmeer auf der südlichen Hemisphäre nur 7°, auf der nördlichen nur 12°, und rund drei Viertel des gesamten Weltmeeres haben unter 5° Jahrestemperaturschwankung. In den Nebenmeeren liegen indessen die Verhältnisse anders, da sich hier der Einfluß des Landes stark bemerkbar macht. Das Maximum der Jahresschwankung überhaupt liegt mit 23° im Golf von Petschili, im Mittelmeer differieren wärmster und kältester Monat um 10—14°, im Schwarzen Meer um 15—20°, und an den deutschen Küsten liegt die Wassertemperatur im August etwa 16—17° über der des Februar.

Wir haben nun die Temperaturverteilung nach der Tiefe zu betrachten. Diese ist im Meerwasser wesentlich anders als im Süßwasser, wo nur die Temperatur maßgebend ist, während im Meerwasser der Salzgehalt noch einwirkt. Im Süßwasser kann nur kaltes Wasser nach unten sinken, da es spezifisch schwerer ist als warmes, im Meere aber außer dem kalten auch warmes, nämlich dann, wenn die erhitzten oberflächlichen Wasserschichten infolge der Verdunstung salzreicher und deshalb ebenfalls spezifisch schwerer werden. So kann sich am Boden des Meeres auch warmes Wasser aufschichten, was in den Seen unmöglich ist. Die tiefsten Stellen des europäischen Mittelmeers zeigen z. B. noch Temperaturen von 13°, während in den oberitalienischen Seen bereits in 150 m Tiefe nur mehr 5—7° gemessen werden.

Bei den Nebenmeeren ist naturgemäß die Höhe der sie abtrennenden Bodenschwelle für die Tiefenverteilung der Temperatur maßgebend. Besonders deutlich

Phot. E. Philippi.

Abb. 382. Eisberge vor dem antarktischen Inlandeisrand.

wird dies an der Straße von Gibraltar, wo ein Austausch der Gewässer infolge der dortigen Bodenschwelle nur bis zu 350 m stattfinden kann. Westlich der Schwelle, also im Atlantik, sinkt die Wassertemperatur von 12,5° zuerst schnell, dann allmählicher bis 2°, östlich der Schwelle finden wir im Mittelmeer bis 3500 m Tiefe eine gleichbleibende Temperatur von 12,7°!

In der Ostsee treffen wir insofern auf eine Ungesetzlichkeit, als wir am Boden wärmeres Wasser beobachten als in der Mittelschicht. Das Ostseewasser, das sich nach der Tiefe zu schnell abkühlt, schwimmt nämlich auf dem zwar etwas wärmeren, aber infolge höheren Salzgehalts spezifisch schwereren, durch die Belte eindringenden Nordseewasser.

In den freien Ozeanen macht sich — die polaren Breiten ausgenommen — eine Dreiteilung der Temperatur nach der Tiefe zu geltend. Zu oberst liegt eine etwa 200 m hohe Oberflächenschicht, in der die Temperatur ziemlich schnell abnimmt, es folgt dann eine 700—800 m dicke Schicht mit sehr allmählicher Temperaturabnahme und dann die mehrere Tausend Meter umfassende Grundschicht mit gleichbleibender Temperatur.

Aus zahllosen Messungen in den einzelnen Ozeanen hat Schott eine Tabelle zusammengestellt, welche die mittlere Temperaturabnahme für je 100 m in den Breiten 40° N bis 40° S zum Ausdruck bringt:

Tiefenstufen	0–100	100–200	200–400	400–600	600–800	800–1000	1–2000	2–3000	3–4000
Atlantik . . .	4,2	3,7	1,8	1,5	0,9	0,4	0,16	0,07	0,06
Indik	3,6	4,7	1,9	0,9	0,9	0,8	0,33	0,06	0,05
Pazifik . . .	2,8	4,1	2,8	1,6	0,8	0,5	0,10	0,05	0,01

Die Temperaturen sind nun selbst am Äquator in der Tiefe sehr gering. Schon bei rund 100 m ist das Wasser kälter als die Lufttemperatur im ungünstigsten Monat, und in Tiefen unterhalb 1000 m liegt die Wassertemperatur etwa bei 5—2°. Daraus geht hervor, daß dieses Tiefenwasser aus höheren Breiten stammen muß und durch einen zwar sehr langsamen, aber stetigen Zustrom immer wieder erneuert wird. Da die Ozeane nach Norden zu ziemlich abgeschlossen sind, muß man annehmen, daß das kalte Tiefenwasser aus der Antarktis stammt, und dafür spricht auch seine weitere Verbreitung auf der südlichen Hemisphäre gegenüber der nördlichen. Natürlich können Bodenschwellen den Zutritt beeinträchtigen oder ganz hemmen, andererseits muß man auch Gegenströme annehmen, die wieder einen Ausgleich herbeiführen, und es ist sicher, daß außer den uns bekannten, gleich zu erörternden Oberflächenströmungen noch ein System von Strömungen in den verschiedenen Wassertiefen vorhanden ist, dessen Erforschung die Aufgabe der kommenden Zeit sein wird.

Phot. E. Philippi.

Abb. 383. Brüche an der Wand eines Eisberges in der Antarktis.

D. Die Eisbedeckung des Meeres.

Die polaren Meere zeichnen sich durch eine Eisbedeckung aus, die ihr Befahren unmöglich macht. Außer im nördlichen und südlichen Eismeer finden wir Vereisungen auch im Beringsmeer, im Ochotskischen Meer, in der Hudsonbai, im Asowschen Meer und in der nördlichen Ostsee. An den Küsten gefriert das Wasser sogar häufig in mittleren Breiten, z. B. im Schwarzen Meer und am Bosporus.

Die Eisbedeckung besteht aus Eisbergen und Eisfeldern. Die Eisberge sind losgelöste Stücke von Inlandeis oder Gletschern, deren Zunge sich bis ins Meer erstreckte; sie sind also festländische Bildungen. Die Eisfelder entstehen dagegen durch Gefrieren von Meerwasser, doch können sie durch Schneefälle eine bedeutende Erweiterung erfahren. Meerwasser gefriert erst bei $-1{,}7$ bis -2^0; dabei scheidet sich ein Teil seines Salzes aus. Da die Eisdecke das darunterliegende Wasser vor weiterer Abkühlung schützt, ist die Dicke des Meereises nur gering. Gegen das offene Meer zu lockert sich das Eisfeld zu sog. Treibeis auf, während das Eis der Eisfelder zumeist als Packeis bezeichnet wird.

Phot. E. Philippi.

Abb. 384. Schichtung eines tafelförmigen Eisberges.

Die Dicke des im Verlauf eines Winters entstehenden Eises beträgt in der Arktis etwa 2—3 m, in dem wärmeren Antarktischen Meer etwa 1 bis $1^1/_2$ m. Das sich bildende Eis erhält infolge der Wirkung der Gezeiten bald Risse, durch welche Wasser nach oben dringt, das beim Gefrieren dann wieder die einzelnen Eisstücke weiter auseinander sprengt. Da das Eis an den Festlandsrändern einen Widerstand findet, entstehen Stauungen und Überschiebungen; das Eis türmt sich auf und gefriert zu seltsamen Bildungen zusammen.

Das Packeis weist also eine ganz ungleichmäßige, trümmerhafte Oberfläche auf; es ist steter Veränderung unterworfen und sehr schwer zu begehen. Da es ganz unberechenbar zusammengedrängt und überschoben wird, übt es auf Schiffe große Pressungen aus; manches Expeditionsschiff ist im Packeis zermalmt worden. Ende Mai beginnt das Meereis tagsüber zu tauen; die kleinen freien Wasserrinnen erweitern sich, und ein Teil des Packeises schwimmt als Scholleneis den wärmeren Zonen zu. Die äquatoriale Treibeisgrenze schwankt im nördlichen Atlantik zwischen 56^0 bei Südamerika und 35^0 am Kap der guten Hoffnung (Abb. 381—384).

Die sommerliche Wärme vermag nicht das gesamte Eis abzutauen, doch wird

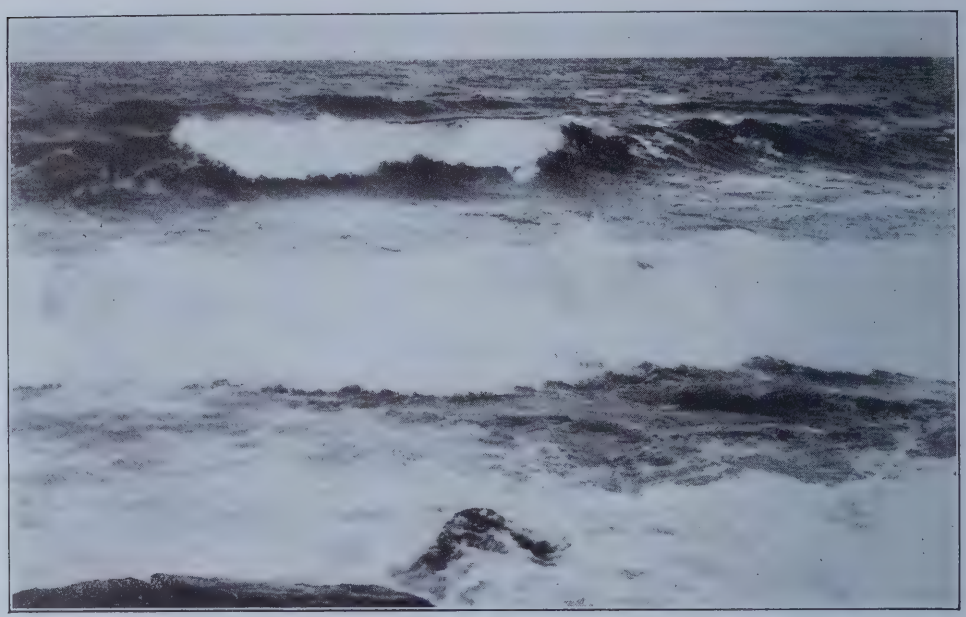


Abb. 385. Die auf den Strand treffenden Wellen bedingen durch Überschlagen die Brandung.

immerhin ungefähr ein Drittel des Eisgebietes eisfrei. Im Winter dagegen kommt so viel Schnee und Eis hinzu, daß der sommerliche Verlust wieder ausgeglichen wird. Dies gilt allerdings nur im Mittel, denn die Eisgrenzen wechseln in den einzelnen Jahren beträchtlich in Abhängigkeit von Sommerwärme, Wind- und Wasserströmungen.

E. Die Wellen des Meeres.

Der große Zauber, den das Meer auf jeden empfänglichen Menschen ausübt, besteht nicht nur in der gewaltigen Ausdehnung der Meeresflächen, sondern auch in der steten Bewegung des Wassers, in dem ewigen Pulsschlag der See.

Am auffallendsten sind die **Wellen**, während die **Strömungen** nicht so stark in die Erscheinung treten, obwohl ihre Wirkung ebenfalls sehr bedeutsam ist. Während bei den Strömungen die einzelnen Wasserteilchen horizontal fortschreiten, geht bei den Wellen nur die Bewegung als solche weiter, während die einzelnen Wasserteilchen ihre Lage im Raum nur wenig verändern. Ein Stück Holz reitet auf den Wellen, es hebt sich und senkt sich, wird aber nur um ein weniges fortgeführt.

Bei jeder Welle hat man zu unterscheiden: die Wellenlänge, d. h. den Abstand von einem Wellenkamm zum nächsten, die Periode, d. h. die Zeitspanne, die zwischen der Entstehung zweier Wellenberge liegt und schließlich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen, d. h. die in einer Sekunde gebildete Anzahl von Wellen. Als viertes kommt noch die Wellenhöhe in Betracht, also der Abstand zwischen dem Gipfel eines Wellenberges und dem Tiefpunkt seines Wellentals. Da die Wellenhöhe nur vom fahrenden, sich mit den Wellen hebenden und senkenden Schiff aus beob-

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 386. Flachstrand mit auflaufenden Wellen auf der Insel Sylt.

achtet werden kann, kommen häufig selbst beim geübten Seemann erhebliche Täuschungen vor.

Die Wellen des Meeres werden durch den Wind hervorgerufen. Zunächst entsteht beim Hinüberwehen eine ganz leichte Kräuselung, da der Wind an der Wasseroberfläche größeren Widerstand findet als in der darüberliegenden Luft. Diese sog. kapillaren Wellen wirken nun als verstärkter Widerstand; so türmt der Wind immer größere Wellen auf, je länger er weht und je größer die von ihm bestrichene Wasserfläche ist. Weht der Wind lange genug, dann bringt er die Wasserteilchen auch in horizontaler Richtung in Bewegung, es entstehen die Driften. Wenn nun hohe Wellenberge entstehen, dann können sie sich nicht bis zu ihrer vollen Höhe entwickeln; der Wind reißt ihre Kämme ab und jagt sie in das davorliegende Wellental hinab. Auf diese Weise entstehen die von den Seeleuten gefürchteten Sturzseen.

Die höchsten Ziffern großer Wellen betragen für die Höhe 15 m, für die Länge 350 m, für die Periode 15 Sek. und für die Geschwindigkeit 24 m. Die Steilheit der Wellen nimmt mit der Windstärke zu; beträgt das Verhältnis von Höhe zu Länge bei mäßigem Seegang 1 : 40, so steigt es bei Sturm oder „schwerer See" auf 1 : 20. 15 m Wellenhöhe stellen natürlich einen sehr seltenen Fall dar; auch bei grober See sind 9 m hohe Wellen schon Ausnahmeerscheinungen; bei leichtbewegter See liegt die Wellenhöhe zwischen 2 und 4 m. Hält ein Sturm lange an, so kann die Bewegung der Wellen größer als die des Windes werden; die Wellen können also vor dem Sturm herlaufen und als Vorboten eine sog. Dünung hervorrufen. Solche Dünungen gehen über die glatte See hinweg, ohne daß die Luft bewegt ist; sie zeichnen sich durch lange, niedrige Wellen aus. Dünungen werfen die Segelschiffe oft tagelang hin und her, ohne daß bei herrschender Windstille die Möglichkeit des Weiterkommens gegeben ist. Kommen sie in seichtes Wasser, so gewinnen sie an

Abb. 387. Die Flutwelle im Tsiengtangfluß (China).
Sie bricht als Wassermauer von 10—12 m Höhe in den Fluß hinein.

Höhe und erzeugen sog. Roller, die an manchen Küsten das Anlegen der Schiffe erschweren oder gar verhindern. Die Küste von Ascension ist bisweilen tagelang unnahbar; berüchtigt ist die Strandbrandung an der westafrikanischen Küste und an der Westküste Vorderindiens (Abb. 389—390).

Die Wellenbewegung setzt sich weiter, als man zunächst annehmen möchte, nach der Tiefe zu fort, sie verliert aber sehr schnell an Intensität. Theoretische Berechnungen haben ergeben, daß sie bereits in einer Tiefe, die der Länge der Wellen entspricht, nur noch $^1/_{500}$ der oberflächlichen Wellenhöhe beträgt, sie reicht aber selbst bei 200 m Tiefe noch aus, den Sand des Meeresbodens allmählich zu verschieben, und bei den höchsten Wellen kommt nach der Theorie erst bei 5000 m Tiefe das Wasser wieder vollständig zur Ruhe. Dadurch wird die Wirkung der Wellen auf den Untergrund seichter Meeresteile verständlich. Die Welle wird zugleich kürzer, je geringer die Wassertiefe ist, ihre Kämme müssen sich also überstürzen, und es entsteht die sog. Brandung, wie sie am großartigsten an der afrikanischen Guineaküste in die Erscheinung tritt. Diese Strandbrandung ist natürlich nur an Flachküsten, die ganz allmählich ins Meer abfallen, möglich; sie wird noch verstärkt, wenn stetiger Wind das Wasser der Küste zutreibt, da die großen Wasseranhäufungen dann als Sturmfluten niedrige Landteile völlig überfluten können. Sturmfluten sind leider auch an den deutschen Küsten keine Seltenheit, und selbst das im allgemeinen ruhige Ostseewasser vermag (wie auf Rügen) dem Lande tiefe Wunden zu reißen, während an der Nordseeküste die große Zuidersee durch Sturmfluten zwischen dem 13. und 16. Jahrhundert entstand.

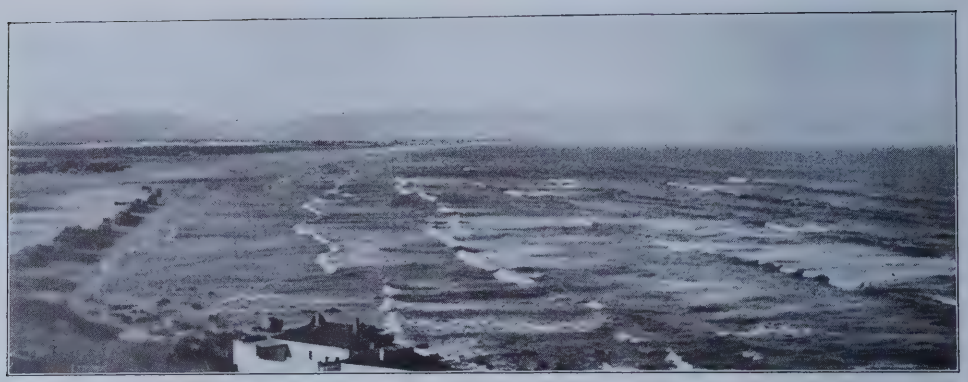
Phot. Putnams' Sons.

Abb. 388. Brandungswellen an der Einfahrt in die Bucht von Rio de Janeiro.

Anderer Art ist die Brandung an Klippen, die sich als festes Bollwerk den Wellen entgegenstellen. Die unvermittelt zum Stillstand gebrachte Welle wird gleichsam zusammengepreßt und muß ausweichen. Dies ist nur nach oben möglich, und so entstehen namentlich an einsamen Felsen und an Steilküsten Brandungswellen bis zu 30 m Höhe, deren Gischt eine weiße Wolke bildet. Auch hier sind natürlich Windstärke und Winddauer eine wesentlich treibende Kraft.

Außer den Windwellen lassen sich mitunter noch andere Wellenformen beobachten. Die wichtigsten und in ihren Wirkungen verheerendsten sind die Bebenwellen, die bei untermeerischen Beben gebildet werden. Der Stoß kommt hier von unten, und das Wasser wird in seiner ganzen Tiefe aufgewühlt. Die Geschwindigkeit der oberflächlich im Umkreis verlaufenden Wellen ist außerordentlich hoch, hat man doch Geschwindigkeiten von 200 m in der Sekunde gefunden. Dementsprechend sind auch die Perioden und Wellenlängen groß, die letzteren betragen 150 bis über 1000 km, die Perioden bis zwei Stunden. Es ist klar, daß solche riesenhaften Wogen, selbst wenn ihre Höhe nicht viel höher als die der größten Windwellen ist, an den Küsten große Verwüstungen hervorrufen müssen und mehrere Male die Ozeane durcheilen können.

Im Gegensatz zu den Seebeben- oder Stoßwellen sind die Schaukelwellen auf atmosphärische Erscheinungen zurückzuführen. Wir finden sie in abgeschlossenen Meeresteilen und in größeren Seen. Dort entstehen sie dadurch, daß an den einzelnen Teilen der Wasserfläche der Luftdruck verschieden ist, so daß das Wasser gleichsam um eine Achse schaukelt. Bekannt und häufig sind solche Schaukelwellen im Genfer See, wo sie von den Fischern als seiches bezeichnet werden, und in der Ostsee, wo man sie Seebär (bär = bahre = Hebung, Schwellung) nennt.



Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 389. Roller in der Falsebai am Kap der guten Hoffnung.

F. Die Gezeiten.

Auch wenn kein Windhauch das Wasser bewegt, ist die Oberfläche der Ozeane in ständigem Schwanken begriffen, das ganz periodisch verläuft. Innerhalb eines Tages steigt und fällt der Wasserstand zweimal. Der höchste Wasserstand, das Hochwasser, tritt ein, wenn der Mond den Meridian des betreffenden Orts gerade passiert hat oder 180° davon entfernt ist, Niedrigwasser fällt etwa mit dem Mondaufgang und -untergang zusammen. Das Steigen des Wassers wird als Flut, das Fallen als Ebbe bezeichnet, beide Erscheinungen ergeben zusammen die Gezeiten oder Tiden, und der Unterschied zwischen Hoch- und Niedrigwasser heißt der Hub. Dieser ist ebenso Schwankungen unterworfen, wie die Zeitdauer der Flut (Abb. 391—392).

Die Gezeiten sind eine durch kosmische Einflüsse bedingte Erscheinung, und zwar ist es der Mond, welcher sie bedingt. Nicht nur zieht die Erde den Mond an, sondern im Verhältnis der Größen macht auch der Mond seine Anziehung auf unseren Planeten geltend. Wäre die Erde eine Wasserkugel, so würde diese Anziehung in ganz gesetzmäßiger Weise verlaufen.

Außer dem Mond wirkt nun auch die Sonne gezeitenbildend auf die Erde ein, allerdings wegen ihrer weit größeren Entfernung in viel geringerem Maße. Die Wirkung des Mondes ist 2,2 mal so stark wie die der Sonne. Infolge der Erdrotation gehen Mond- wie Sonnengezeiten um die Erde herum, und zwar umkreisen innerhalb 24 Stunden zwei Sonnenwellen und innerhalb 24 Stunden und 50 Minuten zwei Mondwellen die Oberfläche unseres Planeten. Beide Wellen vereinigen sich zu einer einzigen Welle, aber nur während des Neumondes treten Mond und Sonnenhochwasser gleichzeitig ein, sonst ergeben sich die Gezeiten aus der Differenz beider. Im ersten und dritten Viertel des Mondes fallen Mondhochwasser und Sonnenniedrigwasser oder umgekehrt zusammen, beim Vollmond trifft die untere Mondkulmination mit der oberen Sonnenkulmination zusammen, so daß sich gleiche Verhältnisse wie bei Neumond ergeben. Wir haben also in jedem Monat zwei Springtiden mit höchster Hubhöhe und zwei Nipptiden mit kleinster Hubhöhe.

Wegen der verschiedenen Lage und Entfernung der Himmelskörper ist die Flut noch jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Theoretisch schwankt die

Mondflut zwischen 647 und 465 mm, die Sonnenflut dagegen nur zwischen 259 und 234 mm, so daß die höchste Springflut 906 mm, die niedrigste Nippflut 231 mm betragen kann.

Die theoretischen Werte weichen aber nun von den tatsächlich beobachteten sehr erheblich ab. Das Wasser kann infolge der inneren Reibung nicht ohne weiteres den Anziehungskräften folgen, sondern setzt ihnen einen Widerstand entgegen, die

Abb. 390. Roller bei Ascension.

Flutwelle kann infolge des wechselnden Bodenreliefs in den Ozeanen der Bewegung der Gestirne nicht rasch genug folgen, und die Inseln und Festländer stören die Ausbreitung der Gezeiten.

Schon die Hubhöhe entspricht nur an einigen ozeanischen Inseln den theoretischen Werten; häufig ist sie viel höher. Beträgt sie z. B. auf Ascension nur 0,6 und auf St. Helena 0,9 m, so steigt sie an den Azoren auf 1—1,5; auf Madeira sogar auf 2,1 m an. In Buchten wird die Flutwelle noch viel höher, weil das hineingedrängte Wasser sich dort aufstauen muß. Im Bristolkanal ergeben sich Werte von 15 m für den ganz normalen Hub. Das gleiche gilt auch für Flußmündungen, so für den Amazonas, dessen Namen — der nichts mit dem sagenhaften Weibervolk zu tun hat, sondern aus dem indianischen Amassuma, Wogenprall, entstanden ist — schon darauf hinweist. Finden sich Untiefen an der Flußmündung, so kann es zur Bildung gefährlicher Flutbrandungen oder Sprungwellen kommen, wie sie am Ganges und am Tsiengtang (hier bis 8 m hoch!) auftreten (Abb. 387).

G. Die Meeresströmungen.

Im Gegensatz zu den bisher genannten Bewegungen verlaufen die Meeresströmungen außerordentlich langsam, so langsam, daß die Lage der einzelnen Meeresströmungen nur sehr schwer erkannt werden kann. Treibhölzer, deren

Ursprungsheimat man kannte, erwiesen zwar bereits vor mehreren Jahrhunderten die Existenz solcher Strömungen, aber erst die regelmäßige Beobachtung von Flaschenposten gestattete es, etwas Näheres auch über Richtung und Schnelligkeit zu erfahren. Dazu kam die genaue Messung der Temperatur und des Salzgehaltes, die sich ja auch in den Strömungen von dem benachbarten Meer unterscheiden. Auch die sog. Stromversetzung der Schiffe, d. h. ihr Abtreiben von der eingeschlagenen Linie gibt wichtige Fingerzeige für den Einfluß der Strömungen.

Die Geschwindigkeit der Meeresströmungen ist verhältnismäßig niedrig; sie steigert sich nur in den Meerengen, z. B. in der Floridaenge auf 4—5 Seemeilen

Abb. 391. Die Abtei St. Michel in der Bretagne bei Ebbe (von Nordosten gesehen).

in der Stunde oder 2—$2^1/_2$ m in der Sekunde. Die äquatorialen Strömungen haben eine Geschwindigkeit von 15—25 Seemeilen in 24 Stunden.

Die Strömungen entstehen durch die Wirkung des Windes. Während man früher nur für die oberflächlichen, sog. Windtriften den Wind als bedingenden Faktor annahm, ist man allmählich zu der Überzeugung gekommen, daß auch die sich in größere Tiefen fortsetzenden Strömungen durch dauernd wehende Winde hervorgerufen werden können, indem die Bewegung der oberen Schichten allmählich nach unten weitergeht.

Die Richtung der Strömungen ist durch die Windrichtung bedingt, sie weicht indessen nicht unerheblich von ihr ab, indem die Erdrotation auf die Strömungen einwirkt und sie umlenkt. Im Gegensatz zu den Windsystemen benennt man die Meeresströmungen nach der Richtung, nach welcher sie fließen.

Wenn Wasser durch den Wind fortgeführt wird, muß zum Ausgleich neues nachfließen. Solche Ersatzströme kommen entweder von der Seite heran oder als Auftriebwasser aus tieferen Wasserschichten. Anderseits teilen sich auch die Strömungen, wenn sie gegen ein Hindernis, etwa gegen eine Küstenlinie oder eine Insel

anlaufen, ja, es können unter gewissen Bedingungen auch Gegenströme auftreten, die entgegengesetzt der Hauptströmung verlaufen.

Es leuchtet wohl ohne weiteres ein, daß die Meeresströmungen hinsichtlich ihrer Stärke, ihrer Lage und ihrer Richtung ständigem Wechsel unterworfen sind, da sich die Wasserteilchen sehr leicht verschieben und ihre Bewegung mehr oder weniger stark ihrer Umgebung mitteilen. Zudem machen sich auch klimatische Unterschiede geltend, so daß eine Karte der Meeresströmungen, die Sommer und Winter in sich vereinigt, den tatsächlichen Erscheinungen nur in großen Zügen entspricht.

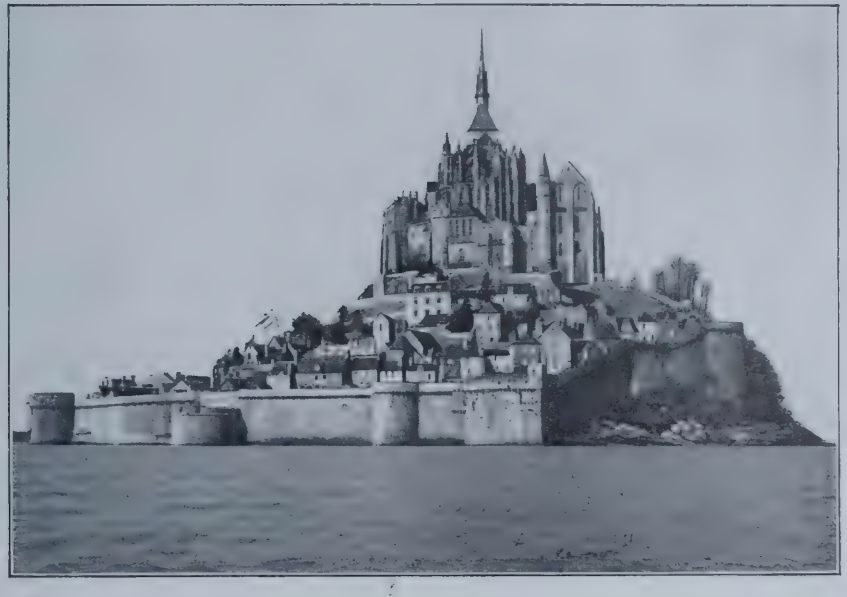


Abb. 392. Die Abtei St. Michel in der Bretagne bei Flut (von Osten gesehen).

Im Atlantik beschreiben die Meeresströmungen zwei Kreise: Die südliche Äquatorialströmung oder Südpassattrift ist 8—10° breit und liegt zum Teil noch etwas nördlich des Äquators; sie verläuft entgegengesetzt dem Uhrzeiger. Die Nordpassattrift läuft im Sinne des Uhrzeigers; sie tritt nur im Westen stärker hervor. Ihre mittlere Stromstärke beträgt 15—16 Seemeilen in 24 Stunden, während sich die Tagesgeschwindigkeit der Südtrift auf 20—24 Seemeilen steigert. Zwischen beiden liegt als Gegenströmung der Guineastrom, der von Westen nach Osten verläuft, an der afrikanischen Küste aufwallt und sich hier in zwei Arme gabelt. Der Hauptarm fließt in den Meerbusen von Guinea hinein, den er mit seinem Wasser anfüllt.

Die beiden Passattriften erhalten ihr Wasser im Süden vom Benguelastrom, im Norden vom Kanarienstrom; beide entstehen durch die Dauerwinde des Südost- bzw. des Nordostpassats, zum Teil aber auch aus Tiefenwasser, das von den großen Strömungen angesaugt wird.

An der Nordostküste Südamerikas vereinigen sich Nord- und Südpassattrift und senden einen großen Teil ihres Wassers in das Karibische Meer, aus dem es nord-

wärts durch die Yukatanstraße wieder abzieht und neben zwei kleineren den Floridastrom bildet.

Dieser Floridastrom oder Golfstrom hat eine Temperatur von 25—28° und eine Geschwindigkeit von 36 Seemeilen in 24 Stunden. Er ist zunächst nicht sonderlich groß, wird aber von einem Arm der Nordpassattrift, dem am Außenrand der Antillen entlangziehenden Antillenstrom verstärkt und verläuft nun mit einer Tagesgeschwindigkeit von 70—80 Seemeilen an der Küste nordwärts. Sein warmes, blaues Wasser bildet einen deutlichen Kontrast zu dem grünlichen kalten Wasser, welches südwärts fließt.

Der Floridastrom biegt nun seinerseits um und setzt sich nach Osten hin in einzelnen Streifen warmen Wassers fort, die sich fächerförmig über den Nordteil des Atlantik verbreiten und zusammenfassend als Golfstrom bezeichnet werden, obgleich ja nur ein kleiner Prozentsatz des Wassers dem Golf von Mexiko entstammt. Der südlichste Teil dieses besser als „atlantische Strömung" bezeichneten Stromes vereinigt sich schließlich bei den Azoren mit dem Kanarienstrom, wodurch der Kreis geschlossen ist. In seinem Innern ist das Wasser ruhig, hier liegt die durch ihre Wiesen von losgerissenem Tang gekennzeichnete Sargassosee.

Von den nördlichen Zweigen der atlantischen Strömung verläuft einer in den Golf von Biskaya, der andere an den Britischen Inseln vorbei in das Europäische Nordmeer und zwar der Küste Skandinaviens folgend. Obgleich sich sein Wasser dabei mehr und mehr abkühlt, ist es doch immerhin noch so warm, daß es die Eisbedeckung an den nordeuropäischen Küsten verhindert und die Treibeisgrenze weit nach Norden verschiebt. Nansen hat die letzten Ausläufer dieses für die Besiedelung der nördlichen Länder so außerordentlich wichtigen Stromes noch weit im nördlichen Eismeer feststellen können, wo er im Kampfe mit den kalten Gegenströmungen steht, die von Norden her kommen.

Der westlichste Ast der atlantischen Strömung umspült schließlich Island und reicht in Ausläufern bis zur Baffins-Bai. Als Gegenstrom zieht von Norden her die Labradorströmung nach Süden und bringt Eisberge und kaltes Wasser bis zur Neufundlandsbank. Durch das Zusammentreffen beider Strömungen entstehen an der Neufundlandsbank große Temperaturunterschiede des Oberflächenwassers und die berüchtigten Nebelbildungen.

Der südliche Atlantik ist in bezug auf seine Strömungen nicht so genau durchforscht. Vom Äquatorialstrom zweigt hier der Brasilienstrom ab, der bei den Falklandinseln umbiegt und sich mit der Westwindtrift vereinigt. Wir haben also auch hier einen Kreislauf, und wie im nördlichen, so machen sich auch im südlichen Atlantik polare Strömungen kalten Wassers deutlich bemerkbar, von denen die Falklandströmung etwa der nordatlantischen Falklandströmung entspricht.

Auch im Pazifischen Ozean lassen sich zwei große Strömungskreise verfolgen. Zwei gewaltige Äquatorialströme sind vorhanden, zwischen denen sich ein Gegenstrom ausbildet, der allerdings nur im Sommer weit westlich beginnt. Der nördliche Äquatorialstrom ist stärker als der südliche; er biegt östlich der Philippinen nach Norden um und zwängt sich zwischen den Riukiu-Inseln und Formosa hindurch, um sich als Kuro-Shio, als warmer japanischer Strom längs der japanischen Küste fortzusetzen und — wenigstens im Sommer — einen Zweig auch ins

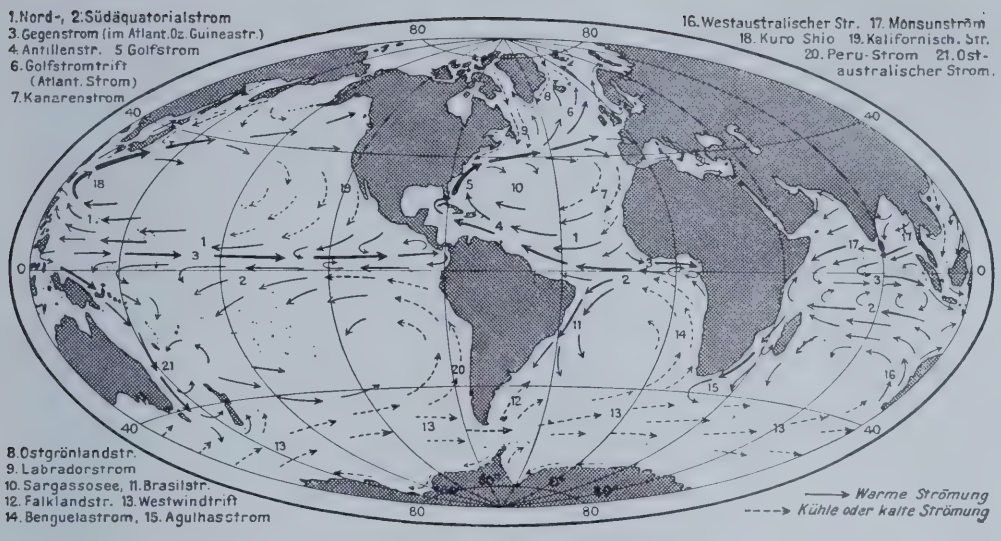


Abb. 393. Die Strömungen der Meeresoberfläche im Nordwinter (n. Schott).

Gelbe und Japanische Meer zu entsenden. Kuro-Shio heißt blaues Salz; der Strom besitzt alle Eigenschaften des Golfstroms, er hat tiefblaues, salzreiches und relativ warmes Wasser. Wie sich im Atlantik an die Nordpassattrift der warme Antillenstrom anschließt, so setzt sich auch an den Strom des nördlichen Stillen Ozeans die schwache Strömung des Nordpazifikstroms an, die ihr warmes Wasser nach Norden und Nordosten bis ins Beringsmeer entsendet und das Klima Britisch-Kolumbiens günstig beeinflußt.

Wie im südlichen Atlantik, so findet auch im südlichen Teil des pazifischen Ozeans eine Strömung entgegengesetzt dem Sinne des Uhrzeigers statt. Von Wichtigkeit für die Schiffahrt ist besonders die breite Südäquatorialströmung und ihre Fortsetzung, die ostaustralische Strömung, welche an der Ostküste Australiens nach Süden umbiegt.

Im Indischen Ozean haben die Strömungen ebenfalls viel Ähnlichkeit mit denjenigen des südlichen Atlantiks; dem Brasilienstrom entsprechend verläuft entgegengesetzt dem Uhrzeiger der sehr breite und schnelle Agulhas-Strom, der sich aus der Äquatorialströmung abzweigt.

Im nördlichen Teil des Indischen Ozeans sind die Meeresströmungen stärker als an irgendeiner anderen Stelle hinsichtlich ihrer Richtung, ihrer Ausdehnung und ihrer Geschwindigkeit von den Luftströmungen abhängig.

Im nördlichen Winter, wenn der NO-Monsun weht, sind die Strömungen durchweg schwächer als im SW-Monsun und fast überall nach Westen gerichtet. Am größten ist die Geschwindigkeit bei Ceylon und in der Malakkastraße. Zwischen Äquator und 8° südl. Breite sind nur schwache und veränderliche Strömungen vorhanden; im Osten tritt aber eine deutliche Ostströmung auf, die als Gegenströmung der atlantischen Guineaströmung entspricht.

Im nördlichen Sommer reguliert der stürmische SW-Monsun die Strömungen. Das Wasser fließt fast durchweg nach Osten und nach Nordosten; am höchsten sind die Geschwindigkeiten der Strömung an der Somaliküste und südlich von Ceylon. Südlich des Äquators verläuft dann der Gegenstrom von Osten nach Westen (Abb. 393).

IV. Das Festland.

Nachdem wir Lufthülle und Meere der Erde einer eingehenden Betrachtung unterzogen haben, müssen wir als letztes noch das feste Land in seinen Grundzügen besprechen. Nicht einzelne Landschaften werden wir also beschreiben, wie es Aufgabe der Länderkunde ist, sondern wir wollen die gemeinsamen Charakterzüge in den Landschaftsformen zu erkennen suchen und diese durch ihre Entstehung, durch die Geschichte ihrer Ausbildung erklären. Diese genetische Morphologie steht auf den Schultern der Geologie, und so schließt sich dieser Abschnitt jenem Teile an, in dem die allgemeine oder physikalische Geologie zur Darstellung gebracht worden war.

Die einzelnen Formen des Festlandes lassen sich nach ihrer Gestalt und Höhenlage wie nach ihrer Entstehungsgeschichte einteilen. Die Gliederung nach genetischen Gesichtspunkten entspricht am meisten den Anforderungen der modernen Geographie, doch setzt sie genaue Kenntnisse der geologischen Verhältnisse der betreffenden Gebiete voraus, über die weder der Laie, noch der einen Landstrich zum ersten Male betretende Forscher verfügt. Viel leichter ist die Beschreibung und Gliederung nach Niveauunterschieden, also nach orographischen Gesichtspunkten.

Ganz allgemein gliedert sich das Festland in *Ebenheiten* und *Unebenheiten*. Die ersteren sind nicht nur ganz ebene Gebiete — eine mathematische Ebene kann es ja auf der Erde überhaupt nicht geben —, sondern ihnen rechnet man auch solche Landteile zu, die trotz zahlreicher Niveauschwankungen im einzelnen als Gesamtbild eine annähernd ebene Fläche ergeben. Vielfältiger sind die Unebenheiten, mögen sie als Berge isoliert aus der Landschaft hervorragen oder als Gebirge massige Erhebungen bilden.

Nach der Form trifft man noch mancherlei Unterscheidungen. Die *Kammgebirge* zeichnen sich durch eine langgestreckte Form aus, die wenig durch Längstäler, sondern nur durch Quertäler geschnitten wird. Die Höhe des Gebirges wird durch einen Kamm dargestellt; von ihm fallen seitlich die Gehänge ab (Abb. 394). Ist an Stelle eines Kammes ein breiterer Rücken ausgebildet, so sprechen wir von einem *Rückengebirge*. Dieses ist also gewissermaßen eine Nebenform des Kammgebirges. Das Riesengebirge ist ein Kammgebirge, der Thüringer Wald ein Rückengebirge. Einzelerhebungen dieser letzteren Ausbildung heißen *Kuppenberge*; ihnen entsprechen beim Kammtypus die *Kegelberge*.

Während Kamm- und Rückengebirge sich durch eine wellige, stark gegliederte Oberfläche auszeichnen, besitzen die *Plateaugebirge* eine breite und auf große Entfernungen hin ebene Oberfläche. Wandert man über diese hinweg, so hat man kaum den Eindruck, sich in einem Gebirge zu befinden, erst die sich tief einschneidenden Täler machen die Niveauunterschiede bemerkbar. Dem Plateaugebirge entsprechen als Einzelerhebungen die *Tafelberge*.

Abb. 394. Der Ziegenrücken im Riesengebirge.
Eine deutliche Kammbildung mit steilen Abhängen zu beiden Seiten.

Die Kettengebirge sind zusammengesetzt aus einer Reihe einzelner Kammgebirge, die durch Längstäler voneinander geschieden sind. Außer typischen Kämmen enthalten die Kettengebirge häufig auch noch Plateaus und einzelne Erhebungen, doch wird durch diese der Charakter eines längsgeteilten Gebirges nicht verwischt.

Zu den Gebirgen werden häufig auch die Landstufen gerechnet, die dadurch entstehen, daß eine Fläche mit scharfem Knick in eine tiefer gelegene übergeht. Diese Landstufen erscheinen, von der tieferen Fläche gesehen, als Gebirge.

Die Einteilung nach der Höhe hat natürlich eine Berechtigung nur in geringem Maße. Wenn sich auch mit der Erhebung über dem Meeresspiegel die Temperatur und der Niederschlag, also auch die Verwitterungsstärke ändert, so kann man daraufhin doch nicht ohne weiteres gleiche Erhebungen miteinander in Parallele stellen, zumal die geographische Lage einen wesentlichen Einfluß hat.

Man pflegt die Grenze zwischen Tiefland und Mittelgebirge seit etwa hundert Jahren bei 200 m anzusetzen. Rund ein Drittel der gesamten Erdoberfläche gehört dem Flachland zu. Das Hochgebirge lassen wir bei etwa 1300 m beginnen, rechnen allerdings vereinzelte Erhebungen des Schwarzwaldes und des Riesengebirges, die diese Höhe übersteigen, noch nicht dazu, sondern ebenfalls zum Mittelgebirge.

Eine wirklich befriedigende Einteilung vermag nur die genetische Methode zu gestatten, die auf die Bildungsweise der Oberflächenformen Rücksicht nimmt. Im geologischen Teil hatten wir exogene und endogene Kräfte kennen gelernt; beide bestimmen die Gestalt der Oberfläche, jedoch in verschieden starkem Maße. Überwiegen als gestaltgebende Kräfte die endogenen Wirkungen, so nennt man das Ergebnis eine Strukturform. Ihr steht die auf exogene Kräfte zurückzuführende Destruktionsform gegenüber.

Mit Supan teilen wir diese Hauptformen in Unterabteilungen ein und unterscheiden bei den Strukturformen tektonische und vulkanische Formen, bei den Destruktionsformen solche, die durch Abdeckung und solche, die durch völlige Umwandlung entstanden sind. Dabei muß man sich klar machen, daß beide Formen häufig zusammentreffen und daß die Zerstörung durch exogene Kräfte unabläßig vor sich geht. Eine allgemeine Entscheidung, ob die exogenen oder die endogenen Kräfte für die Modellierung der Erdoberfläche die wesentlicheren sind, läßt sich nicht treffen. In den meisten Gebirgen gehen beide Hand in Hand, wenn auch sehr häufig die erste Anlage eines Gebirges durch endogene, die spätere Ausmodellierung durch exogene Kräfte besorgt wird.

Wir behandeln im folgenden einzelne wichtige Typen.

A. Die Gebirge und Ebenen.

a) Oberflächenformen der Flachschichtung.

Die Urform der Flachschichtung — eine mathematisch genaue horizontale Schichtung gibt es nicht — ist das Flachland. Große Gebiete der Landoberflächen sind seit alten Tagen der Erdgeschichte Flachland gewesen: man nennt sie zusammenfassend Tafelländer.

Ein solches weites Tafelland ist die Sahara mit ihren auf große Strecken flach und ungestört liegenden paläozoischen und mesozoischen Schichten. Auch andere Gebiete des afrikanischen Kontinents zeichnen sich durch Tafelstruktur aus. In Nordamerika breitet sich zwischen dem Mississippi und dem Alleghaniesgebirge eine ausgedehnte Tafel aus, die von paläozoischen Schichten gebildet wird, auf der linken Seite des Flusses schließt sich bis zum Felsengebirge eine aus Schichten der Kreideformation bestehende Tafel an. Südamerika wartet mit dem riesigen Tafelland von Brasilien auf, Australien mit der Tafel seines gesamten Innenbezirks, und in Eurasien finden wir als ausgedehntes Gebiet die von Polen zur Wolga, vom Finnischen Busen bis zum Schwarzen Meer reichende Russische Tafel.

Die Tafelländer bilden wegen ihrer Flachschichtung Ebenen. Sie bestehen stets aus festen Gesteinen und unterscheiden sich dadurch von solchen Ebenen, die ihre flache Form jugendlichen Aufschüttungen verdanken, unter denen der Boden stark verfaltet sein kann. Wenn die Schichten sehr flach lagern, so ist die Oberfläche des Tafellandes zugleich eine Schichtfläche. Fallen die Schichten dagegen ein, und sei es auch mit einem sehr kleinen Winkel, dann schneiden sie die Oberfläche, die nunmehr in den einzelnen Bezirken von verschiedenen Schichtköpfen gebildet wird.

Eine zweite Form der Flachschichtung entsteht durch Ausfüllung von Landsenken. Jede Senke wird, da die geologischen Kräfte einem Ausgleich von hoch und niedrig zustreben, allmählich mit Gesteinsmaterial angefüllt werden, sei es durch Aufschwemmung mittels Wasser, sei es durch Aufschüttung von seiten des Windes. Anschwemmungsflächen zeichnen sich durch einen schüsselförmigen Bau aus, indem nach dem Innern des Beckens zu immer jüngere Ablagerungen folgen und die Schichtung dabei immer mehr horizontal wird. Da es sich meist um junge, weiche Sedimente handelt, kann die Erosion aus den Ebenen sehr schnell wieder

Abb. 395. Der Tafelberg bei Kapstadt.
Im Vordergrunde das Parlamentsgebäude.

ein belebtes Hügelland herausmodellieren, wie es bei den Donauebenen der Fall ist, die durch zahlreiche Flüsse zerschnitten sind.

Häufig waren in der geologischen Vergangenheit die Landsenken von großen Seen erfüllt, die allmählich zugeschüttet wurden. Als Beispiel mag die oberrheinische Tiefebene genannt sein, die sich durch einen Grabenbruch komplizierter Art bildete und in der sich ein von Basel bis Mainz reichender Süßwassersee befand. Der Rhein füllte allmählich dieses Becken mit seinen Schottern aus, so daß eine Ebene entstand, deren Untergrund von verschiedenen, auch verschieden tief eingesenkten Schollen gebildet wird. Auch die Hochflächen von Kastilien sind ausgefüllte Seebecken genau wie das große Kongobecken, und in Amerika sind die Hochflächen der Anden und Mexikos als zugeschwemmte Landsenken aufzufassen.

In Trockengebieten kommen äolische Aufschüttungen vor, so die großartigen Sedimente von Löß in China. Der berühmte Forschungsreisende Ferdinand v. Richthofen hat diese Ablagerungen sehr anschaulich geschildert: „Fast eine jede der großen Einsenkungen, wenn wir sie von einer Höhe betrachten, hat die Gestalt eines Steppenbeckens, indem eine Vertikalebene die Oberfläche in einer Kurve von der Form eines zwischen den beiden Gehängen schlaff gespannten Seiles durchschneiden würde. Der Höhenunterschied zwischen den Rändern und der Mitte beträgt oft mehrere 1000 Fuß; aber die Abdachung ist so allmählich, daß das Auge sich keine Vorstellung von der Größe dieser Differenzen machen kann. Zunächst von den Gehängen ist der Neigungswinkel am größten; gegen die Mitte hin nimmt er immer langsamer ab, bis sich der diesseitige Abfall mit dem jenseitigen in einer Ebene begegnet. Der obere Muldenrand geht bald unmittelbar durch Anhäufungen

von eckigem Schutt in den aus festem Gestein bestehenden, trennenden Gebirgsrücken über, bald lehnt er sich an Felswände, welche noch hoch darüber aufragen."

Auch in der Nähe des Meeres können sich Aufschüttungsebenen bilden. Ein vortreffliches Beispiel ist die Poebene, einst eine Bucht des Adriatischen Meeres, die durch die Anschwemmungen des Po und seiner Nebenflüsse ausgefüllt wurde, und zwar nördlich der Linie Pavia, Mantua, Verona, Udine mit diluvialen, südlich davon mit alluvialen Bildungen. Auch das chinesische Tiefland ist einst ein Einbruchskessel des Meeres gewesen, der von den Sedimenten des Hoangho in festes Land verwandelt wurde, und schließlich wurde auch die Norddeutsche Tiefebene erst durch tertiäre und diluviale Ablagerungen gebildet.

Die Gebiete der Flachschichtung werden nun vom fließenden Wasser durchschnitten. Da die Wirkung der Flüsse nicht nur von der Wassermenge und von dem Gefälle, sondern auch von dem Höhenunterschied zwischen dem betreffenden Gebiet und der Flußmündung abhängt, sind Tiefländer meist einförmiger und weniger durchfurcht als Hochländer. Das Ausmaß der Erosion wird aber auch durch die Art und Lagerung des Gesteins wesentlich bestimmt, und das morphologische Bild ergibt sich aus der Dauer der Erosionswirkung. In der schwäbischen Hochebene haben sich Täler bis 200 m Tiefe eingeschnitten, von denen einige jetzt trocken liegen, und im Tafelland des Colorado senken sich die Canons 2000 m tief ein (Tafel XIX). Am stärksten ist die Zerstückelung in den Lößgebieten Chinas vor sich gegangen, da Regen und Wind das lockere Material leicht hinwegzuführen vermögen. Da hier die Wände infolge der Gesteinsbeschaffenheit des Löß stets senkrecht abstürzen, entsteht ein Labyrinth enger Schluchten und Hohlwege.

Durchziehen nur wenige Täler ein Gebiet von Flachschichtung, so bleibt der Gesamteindruck einer zusammenhängenden Ebene gewahrt; ist die Durchfurchung dagegen sehr stark, so löst sich die Ebene, da zwischen den Tälern nur wenige harte Rücken und Riegel stehen bleiben, in ein sog. Erosionsgebirge auf. Ein typisches Beispiel hierfür ist die Sächsische Schweiz, über deren zahlreichen Tälern und Felsrücken noch einige Reste der alten Hochfläche emporragen. Hier hat man sogar mehrere Zyklen zu unterscheiden. Der jetzige ist durch das Elbtal und seine Nebentäler gekennzeichnet, der zweite durch die sog. Ebenheiten, der dritte durch die „Steine" (Lilienstein, Königstein usw.) und der vierte durch die Basaltkuppen, etwa des Gr. Winterberges oder Pirschenberges (Abb. 396).

In Gebieten mit Flachschichtung können durch Verwerfungen oder Brüche auch Landstufen entstehen, die natürlich im weiteren Verlauf der Entwicklung sich wieder mehr oder weniger ausgleichen. Anders ist es mit jenen Stufen, die durch einen Wechsel des Gesteins bedingt werden. Das härtere Gestein bildet eine Mauer, da es nicht so leicht durch die Erosion hinweggeräumt werden kann wie das weiche, und diese Mauer rückt allmählich immer weiter zurück, da Verwitterung und Erosion an ihr arbeiten und immer neue Anstürze bedingen. Wird nun auch diese härtere Stufe zerteilt, so entstehen einzelne Bergrücken, die sich bei seitlicher Erosion in Einzelberge auflösen müssen und schließlich, da nun die abtragenden Kräfte von allen Seiten einwirken, allmählich ganz verschwinden. So hat sich beispielsweise der Rand der Schwäbischen Alb seit der Miozänzeit um etwa 23 km nach Südosten zurückgezogen.

Abb. 396. Drei Erosionszyklen in der Sächsischen Schweiz. Elbespiegel als unterste Erosionsstufe, die „Ebenheiten" als zweite, die „Steine" als dritte Erosionsstufe. Im Vordergrund die Felsen der Bastei, in der Mitte des Bildes der Lilienstein, rechts der Königstein.

Geht die Auflösung eines solchen Stufenlandes immer weiter, so verbleiben nur noch einige **Restberge** oder **Zeugenberge**, so genannt, weil sie Zeugnis einer ehemalig weit höheren Landoberfläche ablegen. Ihre Oberfläche ist, wenn sie von einer besonders widerstandsfähigen Schicht gebildet wird, glatt und eben wie eine Platte. Solche Tafelberge finden sich in Südafrika, in Arabien, Abessinien und Ostsibirien, sie sind meist von hartem Eruptivgestein gekrönt (Abb. 395).

Im Gegensatz zu ihnen stehen die Bad-Lands-Formen im westlichen Hochland von Nordamerika. Hier ist die Zerteilung in weichen Sandschichten so weit gegangen, daß sich dem Auge eine überaus gegliederte und zerfurchte Oberfläche darbietet.

b) Die Strukturformen des Faltengebirges.

Faltung der Schichten, deren Entstehung wir früher kennengelernt haben, ist eine weitverbreitete Erscheinung; aber erst dann, wenn die Falten eine solche Dimension annehmen, daß sie sich über ihre Umgebung erheben, entstehen **Faltengebirge**.

Während das gesamte Urgebirge gefaltet war, beschränken sich in späteren Formationen die Faltungen auf ganz bestimmte Zonen: es entstanden die großen Faltengebirge auf der Erdoberfläche. Man kann diese nach verschiedenen Gesichtspunkten einteilen und zwar entweder nach der Anordnung oder nach der Art der Falten oder nach der Beschaffenheit des Gesteins, aus dem sie bestehen. Was die Anordnung der Falten anbelangt, so ziehen die Faltengebirge stets in der Richtung der Falten, mithin stellen sie sich senkrecht zur faltenden Kraft. Daraus ergibt sich

die langgestreckte Gestalt dieser Gebirge, deren Falten z. B. im Schweizer Jura sich bis 100 km weit erstrecken, dann untertauchen und von anderen Falten abgelöst werden. Den Falten parallel verlaufen lange Täler, die man als Längstäler bezeichnet hat; ihnen stehen die kurzen Quertäler gegenüber, deren Richtung senkrecht zu derjenigen des Gebirges liegt.

Das gesamte Faltengebirge kann entweder geradlinig oder gebogen verlaufen. Geradlinige Faltungsgebirge sind in Europa Pyrenäen und Kaukasus, während der Ural in seiner südlichen Hälfte umgeknickt ist. Viel häufiger sind die Faltungsbögen, wie sie deutlich in den Alpen in Erscheinung treten. Die Herausbildung der Bögen führt man einerseits auf alte feste Schollen zurück, um die sich die Falten herumlegen mußten, anderseits auf Zerrungen, so im Osten Asiens, wo sie durch die absinkenden Meeresküsten hervorgerufen wurden. Seltsamerweise zerfasern sich mitunter die Faltengebirge an ihrem Ende; es kann aber auch zu Durchkreuzungen verschiedener Faltungssysteme kommen, die das Bild eines Gebirges stark umgestalten.

Wollen wir die Faltengebirge nach der Art der Faltungen einteilen, so haben wir *offene Faltengebirge* mit stehenden Falten (z. B. Jura), von *geschlossenen Faltengebirgen*, in denen Isoklinal- und liegende Falten vorherrschen, zu unterscheiden.

Nach der Anordnung des Gesteins kommt man schließlich zu einer weitergehenden Aufteilung der Gebirge. Werden die Falten von geschichteten Gesteinen gebildet, wie etwa im Schweizer Jura von den Sedimenten des Mesozoikums und des Alttertiärs, so spricht man von einem *einfachen Faltengebirge*, wechseln mit den Sedimenten kristalline Gesteine ab, so spricht man von *zusammengesetzten Gebirgen* (Alpen). Bei diesen unterscheidet man wiederum einseitige, wie die Karpathen, und doppelseitige wie die Pyrenäen und den Kaukasus. Bei letzterem wird eine aus Granit bestehende Zentralkette, zu der die Gipfel des Kasbek und Elbrus gehören, von zwei Seitenzonen kristalliner Schiefer begrenzt, dann folgen symmetrisch auf beiden Gehängen immer jüngere Sedimente.

Wechseln beim Durchqueren eines Gebirges verschiedene Gesteinsfolgen miteinander ab, so spricht man von einem zonalen Aufbau. Wir finden diesen etwa in den Westalpen. Von Italien nach Frankreich fortschreitend, gelangen wir zunächst in die kristalline Zone der Cottischen und Grajischen Alpen, dann in die Kalkzone des Briançonnais, weiter in die kristalline Zone des Mt. Blanc und schließlich in die Kalkzone Savoyens und des Dauphiné. Zonal sind auch der Himalaya und die südamerikanischen Anden gebaut; bei den letzteren treten noch verschiedene Eruptiva in den Zonenverband ein.

Bisweilen treten zwei Faltengebirge miteinander in Beziehung. Treffen sie in einem spitzen Winkel aufeinander, so nennt man dies eine *Scharung*. Solche Scharung tritt zwischen Alpen und Schweizer Jura ein. Auf seinem östlichen Ende stößt der Kwenlun mit den Falten des sog. sinischen Gebirgssystems zusammen, die er in seine eigene Richtung abbiegt. Vereinigen sich mehrere Hochgebirge miteinander in Girlandenform, wie Himalaya, Karakorum und Hindukusch, so spricht man von einer *Endverwachsung*.

Mannigfaltig sind auch die Beziehungen der Gebirge zu ihrem Vorland. Hochländer, Tiefländer oder Meere können an die Gebirge angrenzen, häufig ganz

Abb. 397. Restberge und Tiefenerosion im Grand Canon des National-Parks, Nordamerika.

verschieden auf den beiden Seiten. An der der Schubrichtung entgegengesetzten Konvexseite der Alpen schließt sich die schwäbisch-bayerische Hochebene, an der Konkavseite die lombardische Tiefebene an, der Himalaya wird im Norden von dem 4000 m hohen tibetanischen Hochland begrenzt, während er im Süden in eine nur ein paar Hundert Meter über dem Meeresspiegel gelegene Tiefebene abstürzt.

Die Höhe der Gebirge ist nicht nur von der Stärke der Faltung, sondern auch von späteren Krustenbewegungen sowie von der Dauer und Stärke der zerstörenden Kräfte abhängig. Bestehen Teile eines Gebirges aus einem gleichartigen Gestein, dann wird die Abtragung überall annähernd denselben Wert haben, die Gipfel werden ungefähr gleiche Höhen aufweisen. Bei wechselndem Gestein variieren auch die Gipfelhöhen, doch gleichen sich die Unterschiede allmählich wieder aus, da die höheren Gipfel stärker von den zerstörenden Kräften angegriffen werden als die niedriger gelegenen.

c) Die Gliederung der Gebirge.

Die Gliederung der durch Faltung entstandenen Gebirge geschieht sogleich nach der Emporfaltung, ja sogar schon während derselben hauptsächlich durch das fließende Wasser. Den Unterschied zwischen Längs- und Quertälern hatten wir schon kennengelernt; welche Talformen vorherrschend werden, hängt zum großen Teil von der Abdachung des Gebirges ab. Ist ein Kettengebirge nur nach den beiden, senkrecht zu seiner Richtung liegenden Seiten abgedacht, so müssen die Flüsse, um überhaupt das Gebirge verlassen zu können, aus den Längstälern in Seitentäler durchbrechen. Dacht sich aber ein Gebirge auch in seiner Längsrichtung ab, so können die Flüsse die Richtung der Längstäler beibehalten. Save und Drau verlassen die Ostalpen in deren Richtung, während sonst in den Alpen Längs- und Quertäler etwa gleich häufig vorkommen. Die Pyrenäen sind nach Frankreich zu nur quergegliedert, während auf ihrer Südseite neben Quertälern auch einige Längstäler auftreten.

Wenn das Gebirge eine große Längsausdehnung aufweist, so haben die Quertäler einen etwa fiederförmigen, parallel gerichteten Lauf, ist es kurz und massig, so werden die Täler strahlenförmig nach allen Seiten hinabziehen. Die Längstäler verlaufen, den Faltengruppen entsprechend, parallel zueinander, und es entsteht, wenn Längs- und Quertäler einander abwechseln, eine sehr gute und weitgehende Gliederung des Gebirges, wie sie am schönsten im Schweizer Jura vorhanden ist.

Die Talbildung setzt zugleich mit der Erhebung des Gebirges ein, und es leuchtet ohne weiteres ein, daß die Zerstörung durch die exogenen Kräfte an den Sätteln der Falten stärker sein wird als an den Mulden. So kann es vorkommen, daß in den Antiklinalen, die ja zunächst höher als die Mulden aufragen, schließlich eine tiefere Talbildung zustande kommt als dort, und daß wir ein Gebirgsprofil erhalten, das entgegengesetzt demjenigen ist, das wir aus dem geologischen Bau zunächst erwarten möchten. Es ist also durchaus nicht gesagt, daß die Täler auf die Mulden beschränkt sein oder daß sie von diesen ihren Ursprung nehmen müssen. Ist dann einmal der Anfang zur Talbildung gemacht, dann hängt die weitere Entwicklung von der Gesteinsbeschaffenheit, von der Wasserführung und damit von der Erosion ab. Vor allem ist die rückschreitende Erosion von Wichtigkeit, die die Kämme zwischen zwei Tälern oder Talgebieten immer mehr erniedrigt und mitunter zur Vereinigung zweier Flußsysteme führen kann. Die Grenzkämme bilden im regulären Bild eine Wasserscheide; es brauchen aber nicht die höchsten Kämme zu sein, ja, häufig trennen geringe Bodenschwellen in den Tälern als sog. Talwasserscheiden zwei Flußgebiete voneinander. So stellt sich die Hauptwasserscheide der Alpen im Reschenscheideck als eine schwache Schwelle in 1500 m Höhe dar und trennt damit Inn (Stillebach) und Etsch, und ebenso sind im Mittelgebirge Wasserscheiden häufig nur durch geringe Erhebungen gekennzeichnet. Eine sehr bekannte Wasserscheide in einem Alpenquertal liegt auf dem Brennerpaß in 1370 m Höhe. In Längstälern sind Talwasserscheiden häufiger. Aus dem Drautal gelangt man beispielsweise ohne große Steigung über das Toblacher Feld ins Tal der Rienz und der Etsch, und zahlreiche andere Furchen, die von zwei in verschiedener Richtung strömenden Flüssen entwässert werden, schließen die Alpen auf und sind für den

Abb. 398. Der Aufbau des Gebirges.
Blick von der Riesen-Bahn auf Kandertal, Wetterhörner, Schreckhörner, Eiger, Mönch und Jungfrau.

Verkehr von grundsätzlicher Bedeutung. Die trennenden Rücken werden mehr und mehr erniedrigt, und wenn einer der beiden Flüsse den anderen an Erosionskraft übertrifft, dann vermag er diesem sogar einen Teil seines Wassers abzuzapfen, wie es im oberen Engadin der Fall ist.

Beim Überschreiten eines Gebirges wählt man jene Stellen, an denen die Wasserscheiden am niedrigsten liegen, um über diese „Pässe" möglichst bequem von einem Tal ins andere zu gelangen. Besonders günstig sind solche Kammscheiden, zu denen zwei Täler in der gleichen Richtung hinaufführen, wie etwa am St. Gotthard. Diesem Paß entspricht in den Tiroler Bergen die Brennerstraße, die von Innsbruck bis nach Bozen und noch weiter südlich in einer Richtung verläuft. In Innsbruck stößt das Quertal auf das breite Längstal des Inn, das einen großen Umweg macht, um aus dem Gebirge herauszuführen. In früheren Zeiten hatte deshalb als Fortsetzung der Brennerstraße der in annähernd gleicher Richtung weiter verlaufende Fernpaß, heute nur wegen seiner landschaftlichen Schönheit bevorzugt, eine hohe Bedeutung. Den Pässen im großen entsprechen die Paßübergänge zwischen den einzelnen Nebentälern, die entweder gerundet (Sattelkämme), schneidenförmig (Schartenkämme) oder scharf und schmal sind (Lückenkämme). Für die Alpinistik spielen sie eine große Rolle, ermöglichen sie doch den Übergang von einem Nebental zum anderen und die begehrten Wanderungen und Klettertouren von Hütte zu Hütte auf immer neuen Wegen (Abb. 399).

d) Die Destruktionsformen des Faltengebirges.

Durch die Abtragung werden die Faltengebirge nun mehr und mehr erniedrigt, die Unterschiede zwischen Bergen und Tälern ausgeglichen, und es entstehen zuletzt die Rumpfflächen, wie sie im baltischen und kanadischen Schild uns besonders deutlich und ausgedehnt vor Augen treten.

Solche Rumpfflächen können auf verschiedene Weise zustande kommen: durch die Abrasion der Meereswogen, durch die schleifende Wirkung des Windes und vor allem durch die alles einebnende Kraft des fließenden Wassers. Rumpfflächen zeigen auch die deutschen Mittelgebirge; sie sind nach Philippi während der Tertiärzeit entstanden. Ferner gehören hierhin die Hochländer des tropischen Afrika.

Aus diesen ragen einige höhere Berge oder auch Gebirgsmassen hervor, die man als Rumpfrestberge bezeichnet hat, weil sie Reste der ursprünglichen Landfläche darstellen, genau wie die Zeugenberge aus dem Tafelland. Warum sie stehen geblieben sind, während die übrigen Teile zerstört sind, ist noch nicht einstimmig gedeutet.

Wenn eine Rumpffläche von Brüchen durchzogen wird, wodurch einzelne Teile absinken, während andere stehen bleiben oder gehoben werden, dann entsteht eine sehr wechselvolle Landschaft. Über der Rumpffläche erheben sich durch Emporpressen an den Brüchen entstandene Gebirge, deren Oberfläche allerdings häufig noch den Charakter der Rumpffläche aufweist. Solche Rumpfschollengebirge sind sehr häufig, in Deutschland gehören die Mittelgebirge zu ihnen. Diese haben also eine komplizierte Entwicklung durchgemacht. Zuerst wurden sie (während der karbonischen Formation) gefaltet, dann wurden die Falten abgetragen und mit flachen Sedimenten bedeckt, die zu einer Rumpffläche umgebildet wurden. Weiterhin setzte eine Zerstückelung des Gebietes ein, wobei einige Teile in die Höhe geschoben wurden, die nun neue Gebirge bildeten. Die sofort erneut einsetzende Abtragung sorgte dann für die mehr oder weniger starke Entfernung der Dachschichten, legte also die alte Rumpffläche wieder ganz oder teilweise bloß und zerschnitt sie durch die Wirkung der exogenen Kräfte.

Wenn die jungen Bruchlinien parallel der ursprünglichen Faltungsrichtung verlaufen, so entstehen Längsschollen, stehen sie quer dazu, bilden sich Querschollen. Der Harz streicht in NW-SO-Richtung, während die Falten in nordöstlicher Richtung liegen. Während die Rumpfschollengebirge zunächst einen Plateaucharakter zeigen, können aus ihnen durch Erosion auch scharf ausgeprägte Kamm- oder Rückengebirge hervorgehen; der westliche Thüringer Wald mit seiner Kammscheide, dem Rennsteig, ist ein treffliches Beispiel dafür.

Die alte Rumpfebene erhält sich bisweilen sehr gut und zwar nicht nur in den stehengebliebenen Teilen, sondern auch in den Rumpfgebirgen. Im Frankenwald wandert man stundenlang über ebene Flächen, in die die Saale mit ihren Nebenflüssen Täler eingeschnitten hat, und auch der Unterharz stellt sich in weiten Teilen als eine ebene Fläche dar. Fährt man zum Beispiel von Blankenburg nach Rübeland, so ist man nicht wenig enttäuscht, auf der Höhe statt durch ein belebtes Gebirge über eine felderbedeckte Hochfläche hinwegzufahren, bis dann das darin eingesenkte Bodetal den Charakter des Gebirges von neuem schafft. Über der

Harzrumpffläche erheben sich vier Restberge: Brocken (1142 m), Ramberg (575 m), Auerberg (575 m) und Ravensberg (660 m); sie bestehen aus Granit oder Porphyr. Harte Sedimente sind in den hohen Quarzitmauern des Acker-Bruchberges im Oberharz stehen geblieben.

Die Flüsse erniedrigen nun die Rumpffläche und arbeiten an der Herausbildung einer neuen Fastebene (Peneplain) in tieferem Niveau. Dazu gehören aber sehr lange Zeiträume, und nur auf geringe Erstreckungen hin kann man auch junge Fastebenen annehmen. Es darf nicht verschwiegen werden, daß eine geographische Schule, die auf den amerikanischen Forscher W. M. Davis zurückgeht, den Begriff der Fastebenen in sehr weitem Maße auszudehnen bestrebt ist.

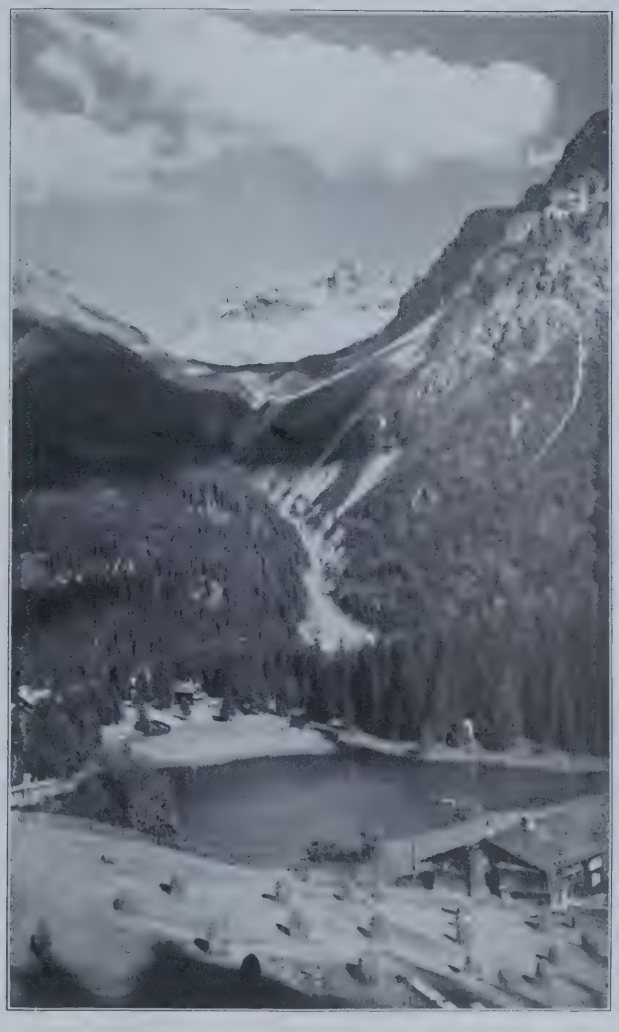


Abb. 399. Ein Paßübergang:
Der Furkapaß bei Arosa mit dem Untersee.

e) **Vulkanische Berge.**

Die vulkanischen Gebiete nehmen einen Raum ein, der mindestens 5% der Erdoberfläche beträgt. Davon entfällt der Hauptanteil auf die großen Lavatafeln, die wir schon besprochen haben. Die noch tätigen Vulkane unterscheiden sich grundsätzlich von anderen Bergen dadurch, daß bei ihnen die endogenen Kräfte mit den exogenen ständig abwechseln. Bei ruhiger Tätigkeit wachsen die Vulkane allmählich, in den Pausen wird ihr weiches Material kräftig zerstört. Lavaergüsse können starken Zuwachs bedingen, während Eruptionen ganze Kuppen hinwegzublasen vermögen. So wechseln Form und Höhe der Vulkane ständig, es kann aber auch zu völligen Neubildungen kommen. Der Monte Nuovo in den Phlegräischen Feldern entstand in seiner ganzen Höhe von 140 m im Jahre 1538, der 1220 m hohe Jorulla in Mexiko wurde 1759 aufgeschüttet, 1769 der Vulkan von Izalco in San Salvador mit 800 m Höhe. An einem

Phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 400. An einem Gebirgskamm bilden sich parallel laufende Täler aus. Der Floitenkamm in den Zillertaler Alpen.

einzigen Tage (14. November 1867) bildete sich ein 60 m hoher Vulkan bei Leon in Nicaragua.

Über die Einteilung der Vulkane ist schon früher (S. 209) gesprochen worden, so daß wir nur noch kurz auf die Destruktionsformen einzugehen haben.

Gerade der Wechsel zwischen Aufschüttung und Zerstörung ruft seltsame Bildungen hervor. Wenn die Eruption vorüber ist, fängt der Krater allmählich an zu verfallen. Unter dem Einfluß des Regens und des Windes wird die Trichterform allmählich in eine Kesselform umgewandelt. Die Kesselwände erniedrigen sich dann noch weiter, so daß der Krater die Gestalt einer flachen Schüssel annimmt, bis er allmählich ganz verschwindet. An der Außenseite des Vulkanberges fließt der Regen radial hinunter und bildet immer tiefer werdende Furchen, die durch scharfe Grate voneinander getrennt werden. Solche Täler sind an den Vulkanen Javas besonders gut ausgebildet (vgl. Abb. 168).

Geht die Verwitterung weiter, so können die weicheren Eruptivmassen völlig beseitigt werden, und es kommt nun zur Zerstörung der härteren Ausfüllungsmassen der Schlöte. Auch in der Erdrinde liegende Vulkanmassen, sog. Batholithe (vgl. Abb. 166) werden häufig ebenfalls freigelegt, indem die weicheren darüberliegenden Sedimente zerstört werden. In Deutschland ist der Brocken ein gutes Beispiel dafür. Sein Granit, der ja ein Tiefengestein ist, liegt jetzt, nachdem die Schichtgesteine durch die Abtragung abgedeckt worden sind, frei an der Oberfläche. Überall wo wir Granite an der Oberfläche finden, sind sie durch Destruktion bloßgelegt worden, und die Menge der hinweggeräumten Sedimentgesteine muß außerordentlich bedeutend sein.

B. Die Flüsse.

Die Flüsse werden in Haupt- und Nebenflüsse eingeteilt. Nach ihrer Richtung zur Wasserscheide unterscheidet man Längs- und Querflüsse. Längsflüsse sind in Europa Donau und Po, Querflüsse die Ströme Norddeutschlands. Die Verteilung der Gesamtmenge der Flüsse wird durch die Hauptwasserscheide geregelt, eine Linie, die das gesamte Festland mit Ausnahme von Australien in zwei gewaltige Abdachungen, die atlantische und die pazifisch-indische, einteilt und die nur in der Beringstraße eine Unterbrechung erleidet.

Die abflußlosen Gebiete nehmen fast $^1/_4$ der Landoberfläche ein; von diesen entfällt auf Eurasien ein Gebiet von rund 10 Millionen Quadratkilometer, was $28\,^0/_0$ seiner Fläche entspricht. In Australien ist mehr als die Hälfte ohne Abfluß, in Afrika, wo die wichtigsten Gebiete Sahara und Kalahari sind, etwa $30\,^0/_0$, während in Amerika nur geringe Zonen abflußlos sind, nämlich in Nordamerika $5\,^0/_0$, in Südamerika knapp $2\,^0/_0$.

Da sich die Verteilung der Flüsse nach den Wasserscheiden richtet, diese aber wesentlich vom Gebirgsbau abhängen, so sind die Flußsysteme in den einzelnen Kontinenten verschieden. Eurasien besitzt drei Hauptwasserscheiden, von denen die eine das atlantische Gebiet abgrenzt, während die beiden anderen in äquatorialer Richtung verlaufen.

Afrika hat zwei Hauptwasserscheiden, eine meridional zwischen Atlantik und Indik verlaufende und eine von dieser bei 4° südlicher Breite quer durch die Sahara ziehende, die eine mittelmeerische und eine atlantische Abdachung trennt. Die beiden Amerika haben im wesentlichen eine durch die westlichen Gebirge bezeichnete Wasserscheide zwischen Atlantik und Pazifik, und ähnlich ist in Australien die Wasserscheide mit dem östlichen Randgebirge verknüpft.

Auch die Häufigkeit der Flüsse ist in den einzelnen Kontinenten verschieden. Sie wird durch den Begriff der Flußdichte, d. h. der Länge der in dem Raum eines Quadratkilometers fließenden Gewässer bestimmt. Da ein dichtes Flußnetz größere Erosivkraft als ein lockeres mit sich bringt, ergeben die Zahlen zugleich ein Maß für die Zertalung des betreffenden Landstriches. Die Flußdichte hängt natürlich vom Niederschlag ab, sie ist deshalb in Gebirgen höher als im Flachland, da ja die Größe der Flüsse nicht berücksichtigt wird. Während die Flußdichte in Pommern nur 0,36, in Nordschleswig 0,56 beträgt, steigt sie in der Eifel auf 0,84, im Elbsandsteingebirge auf 1,13 und im Harz auf 1,77. Der große Unterschied zwischen den beiden letzten Werten muß auf die verschiedene Durchlässigkeit der Gesteine zurückgeführt werden, die ja für die Entwicklung von Flüssen ebenfalls wesentlich ist.

Ein Abdachungsgebiet, dessen gesamte Gewässer sich zu einem gemeinsamen Punkt vereinigen, sei es, daß dieser im Meer oder in einem abflußlosen See liegt, heißt ein Flußgebiet, und die Gesamtheit seiner Gewässer heißt das Stromgebiet. Der allgemeine Sprachgebrauch unterscheidet im letzteren einen Hauptfluß und mehrere Nebenflüsse, doch ist die Kennzeichnung eines Stromes als Hauptfluß nicht überall in der gleichen Weise durchgeführt. Zumeist gilt der längste oder wasserreichste Fluß als der dem ganzen System den Namen gebende Hauptfluß,

jedoch nicht immer. Die Dora Riparia ist länger als das Anfangsstück des Po, der aber in der Richtung der sich nach Süden umbiegenden Poebene fließt und deshalb mit Recht als Hauptfluß des Gebietes bezeichnet werden muß. Bei dem Elbesystem ist sicherlich die Moldau nach Stärke und Richtung der Hauptstrom, genau wie die Saone im Rhonesystem. Der Sprachgebrauch weicht hier also von den tatsächlichen Verhältnissen ab. Auch der Missouri ist mächtiger als der Quellfluß des Mississippi und setzt dessen Unterlauf geradlinig fort; doch hat der Mississippi die tiefste Rinne im System eingesägt. Auch Breite und Färbung spielen mitunter eine Rolle; man muß alle diese Merkmale in Betracht ziehen, wenn man zu einer Unterscheidung von Haupt- und Nebenfluß kommen will.

Auch die Flußsysteme selbst lassen sich ja in kein einheitliches Schema bringen, da ein jedes durchaus individuelle Züge aufweist. Am klarsten liegen die Verhältnisse, wenn sich die Nebenflüsse seitlich wie Äste ansetzen, wobei natürlich die beiden Seiten nicht gleichmäßig bedacht werden. Jenessei, Tigris, Rhone, Donau erhalten von der Gebirgsseite zahlreichere und größere Nebenflüsse als von der anderen, manche von ihnen entwässern als Sammelflüsse ganze Gebirge, so die obere Donau die Alpen.

Abdachungsflüsse entstammen einseitig abgedachten Gegenden und verlaufen deshalb zumeist parallel zueinander. Hierhin gehören die Flüsse, welche von den Pyrenäen nach Norden hin abfließen und von der Garonne und dem Adour aufgenommen werden.

Gehängeflüsse sind den vorigen sehr ähnlich, unterscheiden sich aber von ihnen dadurch, daß sie mehr den Unregelmäßigkeiten des Bodenreliefs folgen und deshalb auch einen weniger regelmäßigen Lauf haben. Gehängeflüsse sind die meisten Nebenflüsse des Inn, soweit sie aus dem Alpengebiet kommen.

Saumflüsse stellen gleichsam das Ableitungsrohr für die Gehängeflüsse und Abdachungsflüsse dar. Sie fließen am Rand der Abdachung in deren Längserstreckung dahin und nehmen alle von dieser herabrinnenden Gewässer auf. Der Tigris entwässert auf diese Weise das Zagrosgebirge, die Donau die Schwäbisch-bayrische Hochebene.

Flachmuldenflüsse fließen in einer durch zwei mehr oder weniger große Abdachungen gebildeten Mulde. Hierhin gehören die Oder, der Amazonenstrom, der Mississippi und die Seine.

Zwillingsflüsse nennt man zwei Ströme, die eine Zeitlang nebeneinander her fließen, ehe sie sich zu einem gemeinsamen Lauf vereinigen. So machen es Ganges und Dschamna.

Flußpaare sind von diesen scharf zu trennen. Sie treffen erst im Mündungsgebiet zusammen und ihre Quellen entstammen ganz verschiedenen Gebieten. Als Beispiel für diese nicht seltene Art können wir die Vereinigung von Ganges und Brahmaputra, von Euphrat und Tigris anführen.

Wenn der Lauf eines Flusses durch Gebirge gleichsam in einzelne Abschnitte geteilt erscheint, spricht man von einem Sammelstrom. Die einzelnen Stromkammern sind dann mittels Durchbruchstäler verbunden. Der Rhein besteht z. B. aus drei Kammern: die erste reicht von der Quelle bis zum Tafeljura, die

zweite bis zum Rheinischen Schiefergebirge und die letzte bis zur Mündung. Die Elbe hat zwei Kammern, die durch das Elbsandsteingebirge geschieden werden, die Donau drei, von denen die erste bis Wien, die zweite bis zum Eisernen Tor und die dritte bis zur Mündung reicht.

Die Größe des Flußgebietes ist maßgebender für die Bedeutung seines Hauptstromes als dessen Länge. Der mächtigste Strom der Erde ist der Amazonas, er entwässert ein Gebiet von der Größe Europas, während er an Länge vom Mississippi um 1100 km, vom Nil um 1000 km übertroffen wird. Über die größten Flußgebiete gibt die nachstehende Tabelle Aufschluß:

Amazonas	7050000 qkm	Wolga	1459000 qkm
Kongo	3690000 „	Sambesi	1330000 „
Mississippi	3248000 „	St. Lorenz	1248000 „
La Plata	3104000 „	Ganges	1060000 „
Ob	2915000 „	Hoangho	980000 „
Nil	2803000 „	Indus	960000 „
Jenesseï	2510000 „	Oranje	960000 „
Lena	2320000 „	Orinoco	944000 „
Niger	2092000 „	Murray	910000 „
Amur	2010000 „	Donau	817000 „
Jangtsekiang	1775000 „	Mekong	810000 „
Mackenzie	1660000 „	Euphrat-Tigris	710000 „

Große Ströme können Veränderungen ihres Laufes erleiden, wie vor allem der Hoang-ho in China, der sein Bett mehrmals verlegt und dadurch Veranlassung zu gewaltigen Überschwemmungen gegeben hat, die ihm den Beinamen „der Kummer Chinas" einbrachten. Aber selbst ganze Stromsysteme können sich verändern. Euphrat, Tigris, Kercht und Karun mündeten im 7. Jahrhundert vor Christi Geburt selbständig in den Persischen Golf und wurden erst später durch ein gemeinsames Delta vereinigt. Die Pruth wurde erst ziemlich spät von der Donau einverleibt, ebenso die Durance von der Rhone. Anderseits können Sedimentmassen auch Nebenflüsse abzwängen und zu selbständigen Strömen machen, so die des Po die Etsch. Auch die früher behandelten Urstromtäler Norddeutschlands zeigen uns einen von den jetzigen Verhältnissen stark abweichenden Verlauf von Weichsel, Oder, Elbe und ihren Nebenflüssen.

C. Die Seen.

In vielen Hohlformen des Bodens sammelt sich Wasser an und bildet stehende Gewässer, die nach der Größe in Seen, Weiher, Teiche, Tümpel eingeteilt werden. Es sind sehr vergängliche Gebilde, denn sie können austrocknen und durch Regengüsse neu entstehen.

Ein besonders bezeichnendes Beispiel bietet der Lop-Nor im zentralasiatischen Tarimbecken. Er wird zusehends kleiner und rückt allmählich nach Süden vor, während seine Form, die einst westöstliche Richtung hatte, unter dem Einfluß der triebsandbeladenen Winde in eine nordsüdlich gestreckte umgebogen worden ist.

Abb. 401. Der Schliersee als Typus eines eiszeitlichen Moränensees im Alpengebiet.

Über die Entstehung der Seen belehren uns ihre Bodenformen. Entweder kann der See ein Becken nur ausfüllen: er bildet ein Austiefungsbecken, oder er besitzt nur ein scheinbares Becken, indem an seinem unteren Ende ein Wall aufgeschüttet ist (Abdämmungs- oder Aufschüttungsseen). Zu den letzteren gehören zahlreiche Seen, namentlich in den Gebirgen. Das abdämmende Material kann dabei den verschiedensten Ursprung haben. Am wenigsten dauerhaft sind die durch Lawinen oder Gletschereis abgedämmten Seen, da das Wasser sich bald durch Schmelzen des Eises oder Schnees seinen Weg bahnt und den See zum Ablaufen bringt. Wichtiger und weit häufiger sind die durch Bergstürze oder Gehängeschutt abgeschnürten Seen.

Auch die Moränen der heutigen Gletscher wie des diluvialen Eises stauten zahlreiche Seen auf, wobei natürlich häufig das Eis eine Vertiefung ausgeschürft hatte. Die Seen Norddeutschlands (Holsteinische, Mecklenburgische, Masurische Seenplatte) sind auf diese Weise entstanden. Im Gegensatz zu den Aufschüttungsseen stehen die Eintiefungsbecken, die zum großen Teil von Gletschern ausgehobelt sind, denn wir finden sie hauptsächlich in einst vergletscherten Gebirgen, so in den Alpen und in den südchileniſchen Anden. Viele Seen sind dann später durch die reichen Sedimente der Flüsse wieder ausgefüllt worden, eine Reihe hat sich aber bis heute erhalten.

Sehr kleine Seen finden sich in den Karen der Alpen und der einst vergletscherten Mittelgebirge. Zu den letzteren gehören der große und der kleine Teich an der Schneekoppe, der Feldsee am Feldberg im südlichen Schwarzwald, der schwarze und weiße See in den Vogesen. Auch auf Pässen kommen kleine Seen vor, so auf der Bernina, auf dem Rechenscheideck, auf dem Brenner.

Zwei Seen der Voralpenzone in Oberbayern. Schloß Hohenschwangau bei Füssen, links der Alpsee.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Abb. 402. Der Vierwaldstättersee, Typus eines aus Längs- und Quertälern zusammengesetzten Seebeckens.

Den Hochseen stehen die Talseen gegenüber, die sich durch Aufstau eines Flusses bildeten, wobei die Eiszeit sicherlich großen Anteil hatte. Zumeist finden sich die Seen in Quertälern; Längstalseen sind der Gardasee und die Seen Kärntens. Der Vierwaldstättersee setzt sich aus Längs- und Quertälern zusammen. Die meisten Seen werden von Flüssen durchzogen, die in ihnen ihre Sedimente ablagern und die Seen gereinigt verlassen. Deshalb treffen wir die meisten Seen auch am Ausgang der Täler an; der 930 m hohe Achensee in Nordtirol bildet eine seltene Ausnahme.

Nach der Herkunft der Wasserfüllung lassen sich die Seen ebenfalls einteilen. Blindseen sind Seen ohne sichtbaren Zu- und Abfluß; sie erhalten ihr Wasser entweder durch Quellen am Seeboden bzw. durch Grundwasserzufluß oder durch Niederschläge im Bereich des Seebeckens. Quellseen werden durch Quellen angefüllt; sie haben meist nur einen kleinen Umfang; ein Riese unter ihnen ist der Viktoriasee. In Gebirgen sind die Flußseen am häufigsten; ihr Wasserstand hängt von der Wasserführung der durch sie hindurchziehenden Flüsse ab, doch schwankt er nur in geringen Grenzen, da die größere Wassermenge auch schnell wieder hinweggeführt werden kann.

Bei den Endseen ist die Entfernung des durch Flüsse eingebrachten Wassers nur durch die Verdunstung möglich. Schwankungen des Wasserspiegels nehmen deshalb auch einen weit beträchtlicheren Umfang an, und es kommt bei Hochwasser meist zu Überschwemmungen weiter Flächen.

Die Gesamtheit der Seen nimmt nach Wagner eine Fläche von 1700000 qkm ein; davon entfallen mehr als eine Million Quadratkilometer auf die zwanzig

größten Seen, von denen der Kaspisee wieder weit hervorragt, denn seine Fläche ist fast so groß wie ganz Schweden. Die größten Seen seien hier genannt:

Kaspisee	436000 qkm	Gr. Sklavensee	28000 qkm
Oberer See	80800 „	Njassasee	26000 „
Viktoriasee	68000 „	Winnipegsee	25000 „
Aralsee	65300 „	Tschadsee	21000 „
Huronsee	61600 „	Ontariosee	18800 „
Michigansee	58100 „	Balkaschsee	18400 „
Tanganjikasee	35600 „	Ladogasee	18100 „
Baikalsee	34200 „	Eyresee (Australien)	10000 „
Gr. Bärensee	28000 „	Onegasee	9750 „

Wir erkennen aus dieser Tabelle, deren Zahlen natürlich nur rohe Werte darstellen, daß erst vom Tanganjikasee an sich eine fortlaufende Reihe von Seen aufstellen läßt, die sich dann bis zu den kleinsten Weihern verfolgen läßt. Die Größe der Seen wechselt mit der Wasserhöhe namentlich in Flachlandsgebieten sehr wesentlich, und hier ist auch die Umrißform außerordentlich schwankend. Irgendwelche Gesetzmäßigkeiten hinsichtlich der Gestalt lassen sich überhaupt nicht aufdecken; diese ist lediglich durch die Zufälligkeiten der Landschaft bedingt.

Über die Tiefe der Seen wissen wir erst genauer Bescheid, seitdem die Seenforschung sich auch mit Tiefenmessungen beschäftigt hat. Als tiefster See muß der Baikalsee mit 1522 m gelten; unergründliche Seen gibt es nicht, und selbst im tiefsten Alpensee, im Comersee, erreicht das Lot bereits bei 400 m den Grund. Immerhin gibt es zahlreiche Seen — allein in Europa kennt man bisher schon über 100 — deren Boden tiefer als der Meeresspiegel liegt: Baikal-, Aral-, Ladoga- und Onegasee sind die größten. Ihnen stehen die echten Depressionen gegenüber, bei denen schon der Seespiegel unterhalb des Meeresspiegels gelegen ist. Dazu gehören viele Küstenseen, die allerdings nur wenige Meter untertauchen, und die großen Binnendepressionen. Von diesen seien die Schotts Gharsa (— 21 m) und Meruan (— 29 m) im Süden des Atlas und einige Oasengebiete der Sahara genannt. In Kalifornien senken sich einige Seen bis — 90 m ein, und Asien besitzt als ausgedehntestes Senkungsfeld das des Kaspisees mit insgesamt 736000 qkm Flächeninhalt. Die Jordansenke mit ihren Seen hatten wir schon genannt. Am tiefsten senkt sich der Boden des Baikalsees ein, dann folgen Kaspisee (— 971 m) und Totes Meer (— 793 m).

Was nun die geographische Verbreitung der Seen anbelangt, so läßt sich in gewissen Gegenden eine gesellige Verteilung feststellen. Seenreich sind viele Strandgebiete, da hier sowohl vom Meere, wie von den Flüssen aus die Möglichkeit einer Wasseranhäufung gegeben ist. Ebenfalls sind die eiszeitlichen Gebiete des Nordens sehr seenreich. In Finnland, dem „Land der tausend Seen", nehmen die stehenden Gewässer nicht weniger als $^1/_8$ der Oberfläche ein, in den Vereinigten Staaten zählt man in Minnesota über 10000 Seen, und diese Zahl wird in Kanada sicher noch weit übertroffen. Auch Norddeutschland enthält viele Seen, allein in Mecklenburg liegen 650. Ebenso sind in einst vergletscherten Gebirgen zahlreiche Seen

anzutreffen, deren Mehrzahl an ganz bestimmte Höhenlagen gebunden ist, so in den Ostalpen an Zonen zwischen 2000 und 2500 m Höhe, in Norwegen zwischen 1000 und 1600 m, in der Sierra Nevada zwischen 2900 und 3200 m, im Himalaya zwischen 4000 und 5000 m, was mit der Schneegrenze in Zusammenhang steht. Ihr Gegenstück bilden die tiefgelegenen Randseen der Alpen sowohl im Norden wie im Süden (Tafel XXIX).

phot. Dr. C. W. Schmidt.

Abb. 403. Der Griebnitzsee bei Potsdam, ein eiszeitlicher Rinnensee.

Eine letzte Seengesellschaft ist im ostafrikanischen Grabengebiet vereinigt; sie geht auf tektonische Vorgänge zurück, die wir schon an anderer Stelle kennengelernt haben.

Schließlich können wir nach der Beschaffenheit des Wassers salzige und süße Seen unterscheiden. Die ersteren entstehen entweder aus früheren Meeren oder durch Auslaugung von Salzlagern oder durch Anreicherung von Salzen, wenn kein Abfluß vorhanden ist und das Wasser nur durch Verdunstung verringert wird. Es können aber Salzwasserseen auch allmählich ausgesüßt werden. Einige abflußlose Seen, so der Tschadsee und der Lop-Nor enthalten wider Erwarten süßes Wasser, weil sie jedenfalls noch bis vor kurzem Abflüsse hatten. Der Salzgehalt der Seen schwankt in weiten Grenzen; er beträgt im Aralsee 1%, im Wansee 1,9%, im Großen Salzsee von Utah 18,6%, im Toten Meer 23,7% und in einem Salzsee am kleinen Ararat gar 37%. Auch innerhalb ein und desselben Sees kann der Salzgehalt verschieden sein, und ebenso wechselt die Zusammensetzung der Salze.

Die Seen sind sehr vergängliche Bildungen; in Trockenzeiten verlieren sie ihr Wasser, um in nassen Jahren wieder an Umfang zu gewinnen. Der Lehontan- und der Bonnevillesee in Nordamerika sind seit der Eiszeit bis auf kleine Reste ausgetrocknet, und in Sibirien gibt es Seen, die in einem halben Jahrhundert drei Viertel ihres Areals eingebüßt haben. Auch die Flußsedimente tragen wesentlich zur Einengung und zum völligen Verschwinden der Seen bei. Der große, von Basel bis Mainz reichende See der oberrheinischen Tiefebene wurde durch die Alluvionen des Rheins ausgefüllt, der Genfer See reichte früher bis Bex, der Lago Maggiore bis Bellinzona, der Bodensee bis Bendern. Seitliche Flüsse trennen mit ihren Ablagerungen manche Seen in zwei Hälften, so bildete die Lütschine den Thuner- und Brienzersee, die Adda den Comer- und Mezzolasee aus einst einheitlichen Becken. Die Verschüttungen gehen sehr schnell vor sich, hat doch Tirol innerhalb eines Jahrhunderts 120 Seen verloren. Auch der Mensch sorgt durch Ableitung des

Wassers für die Entfernung von Seen, um das gewonnene Neuland für sich nutzbar zu machen. Oft verraten Sümpfe, Moore oder Riede einstige Seeböden; ganz allmählich geht dann brauchbares Wiesen- und Ackerland daraus hervor.

Sümpfe umgeben überhaupt viele Seen und zwar besonders dann, wenn der Boden undurchlässig ist oder wenn infolge zu geringen Gefälles das Wasser nur schwer abfließen kann. Wenn Pflanzen unter Wasser verfaulen, so entstehen Moore; ihre Bildung und Bedeutung ist schon früher (S. 181) behandelt worden. Moore finden sich in allen Gebieten der Erde, doch sind hohe Temperatur (wie in den Tropen) und geringe Feuchtigkeit (wie in den Trockengebieten) der Moorbildung anscheinend nicht förderlich. In Deutschland finden sich Moore besonders in Norddeutschland und auf der bayerischen Hochebene; ihre Ausnutzung und Umwandlung durch die sog. Moorkultur ist eine der wichtigsten volkswirtschaftlichen Aufgaben der Gegenwart.

D. Halbinseln und Inseln.

Nachdem wir die Gliederung des festen Landes kennen gelernt haben, müssen wir auch noch jenen Teilen unsere Aufmerksamkeit zuwenden, die man als die Glieder der Festländer bezeichnet hat. Nur selten stößt das Land mit glatter Linie an das Meer an, zumeist haben sich infolge des ewigen Kampfes zwischen Land und Wasser Vorsprünge und Einbuchtungen gebildet. Von den zahllosen Vorwölbungen des Festlandes hebt sich als besondere Gruppe diejenige der Halbinseln heraus. Das Wesentliche einer Halbinsel beruht in der deutlich ausgesprochenen Abgliederung vom Festlandskörper. Da man hierüber aber verschiedener Meinung sein kann, läßt sich eine einwandfreie Bestimmung nicht geben. Eine lange Formenreihe führt von den breit aufgesetzten Halbinseln bis zu den Fastinseln, die nur mit einem schmalen Hals noch dem Festland ansitzen und für die die Krim ein gutes Beispiel ist. Halbinseln können sowohl durch Angliederung von Inseln infolge von Hebungsvorgängen als auch durch Abgliederung festländischer Randteile infolge von Senkungen entstehen. In einer abgegliederten Halbinsel muß sich also die Geländeform des benachbarten Festlandes fortsetzen; so zieht das Karstgebirge durch die Halbinsel Istrien, die durch Einbruch seitlicher Schollen entstand. Die Gebirge Armeniens streichen nach Kleinasien hinein, das in der Richtung dieser Gebirgszüge als Halbinsel abgetrennt wurde, und in Hinterindien wie in Korea haben wir die gleiche Gebirgsrichtung wie im dazugehörigen Hinterland.

Anders verhält es sich mit den angegliederten Halbinseln, die fremde Bestandteile am Kontinentalkörper darstellen. Florida ist im Nordteil eine abgegliederte Halbinsel, im südlichen dagegen gehört es zu Westindien und wurde dem Norden erst spät angegliedert. Italien entstand aus drei Inseln, die durch Flachländer verbunden wurden, und ebenso sind Peloponnes und die Halbinsel Malakka angegliedert worden.

Geographisch wichtiger als die Halbinseln sind die Inseln, die insgesamt ein Areal von 8,4 Millionen Quadratkilometer einnehmen, wenn man Grönland nicht berücksichtigt. Über die Hälfte dieses Areals wird von den 23 über 50000 qkm großen Inseln eingenommen.

Die Inseln treten meist gesellig auf; vereinzelt liegen St. Helena (123 qkm), Ascension (88 qkm) und Sala y Gomez (4 qkm). Man kann nun verschiedene Vereinigungen unterscheiden. Entweder wird eine Insel nur von Klippen umgeben, wie Island, oder von größeren Eilanden, wie Madagaskar. Entweder liegen zwei Inseln nebeneinander, wie bei Neuseeland und bei Nowaja-Semlja, oder sie sind reihenförmig angeordnet, wie die Aleuten und die Antillen. Eine unregelmäßige Haufenverteilung von Inseln nennt man einen Archipel. Der größte ist der malaiische Archipel mit insgesamt 2,8 Millionen Quadratkilometern Areal. Nach ihrer Entstehung muß man zwei Inselarten unterscheiden. Die Kontinentalinseln sind durch Abgliederung vom Festland entstanden, die ursprünglichen Inseln sind vom Meeresboden emporgewachsen. Einige friesische Inseln sind nur während der Flutzeit wirklich abgeschlossene Inseln; jede Ebbe verwandelt sie in Halbinseln. Im übrigen sind die Nord- und Ostseeinseln typische Abtrennungsinseln; ihre Entstehung durch Überflutung des hinter dem Dünenwall gelegenen tieferen Landstriches ist sehr leicht zu verstehen.

Kontinentale Inseln finden sich vor allem an Küsten mit Gebirgsketten, die ins Meer hinauslaufen. Norwegen und Dalmatien sind Beispiele dafür, und man kann deutlich erkennen, daß einzelne Inseln das Gebirge direkt fortsetzen, und daß die Wasserrinnen zwischen ihnen nichts anderes als eingesunkene Täler sind. Der Gebirgsbau und die petrographischen Verhältnisse sind auf diesen Inseln (wie auf den abgegliederten Halbinseln) die gleichen wie auf dem benachbarten Festland. Deutlich lassen sich die Ketten Attikas und Euböas auf den Kykladen verfolgen; die Oberfläche Siziliens ist nur eine Fortsetzung derjenigen Süditaliens.

An Hand der Karte erkennen wir auch ohne weiteres, daß viele Kontinentalinseln in Bögen angeordnet sind, entsprechend den Gebirgsbögen, deren Reste sie ja auch darstellen. Der Gebirgsbau ist allerdings meist sehr kompliziert und wird durch Kreuzungen einerseits, durch Brüche und Senkungen anderseits noch verwickelter. Schließlich trägt auch die abtragende Wirkung der Meereswogen, die Abrasion, zur Umgestaltung der Inseln ständig bei.

Um landfremde Kontinentalinseln zu erklären, muß man Horste annehmen, die diese Stücke über den Meeresspiegel emporhoben, während die benachbarten in der Tiefe versunken blieben. Solche Inseln sind also gleichsam Gebirge auf dem Meeresgrund.

Die ursprünglichen Inseln gliedern sich in Hebungs- und Aufschüttungsinseln, in vulkanische und in Riffinseln. Die beiden ersten Gruppen sind verhältnismäßig selten; es handelt sich zumeist auch um kleine Inseln, die allmählich oder auch plötzlich über dem Wasserspiegel auftauchen. Namentlich in Vulkan- und Erdbebengebieten machen sich solche Erscheinungen bemerkbar; erwähnt sei hier die Inselbildung beim Ausbruch des Krakatau in der Sundastraße (vgl. S. 219).

Häufig sind die vulkanischen Inseln, die eben große auf dem Meeresboden aufgesetzte Vulkane sind und die teils vereinzelt, teils in Reihen, den Gebirgsbögen entsprechend, angeordnet sind. Nicht alle vulkanischen Inseln sind rein vulkanisch; häufig ist ihnen nur ein Vulkan aufgesetzt, der den eigentlich kontinentalen Charakter verwischt. Die Capverdischen Inseln müssen zum Beispiel als ein Aus-

läufer des Atlasgebirges gelten, und ebenso sind im südlichen Atlantik wie im Pazifik verschiedene mit Vulkanen besetzte Inseln Reste eingebrochener Kontinente.

Als letzte Gruppe haben die Koralleninseln zu gelten, die ihre Entstehung der Bauarbeit von Korallentieren verdanken.

Das eigentliche Riff liegt stets unterhalb des Meeresspiegels, darüber erhebt sich als Aufschüttung die Koralleninsel. Nach ihrer Lage trennt man Saumriffe von selbständigen Riffen. Die ersteren gliedert man wiederum in Küstenriffe und Wallriffe. Küstenriffe begleiten in geringem Abstand die Meeresküsten, von denen sie durch einen Kanal getrennt sind. Ihre Breite beträgt nur 45—90 m. Viel weiter von der Küste entfernt liegen die Wall- (Barriere-, Damm-) riffe, deren Durchmesser zwischen 5 und 50 m schwankt, die aber als Unterlage zum Teil Inseln benutzen. Das größte Wallriff liegt in 30—140 km Entfernung von der Nordostküste Australiens; es ist 2000 km lang, aber durch zahlreiche Durchgänge unterbrochen.

Besonders interessant sind die Atolle, die in allen Größen vorkommen. Das Atoll Suvadiva in den Malediven ist 80 km lang und 65 km breit; neun Zehntel des Areals entfallen aber auf die innere Lagune, die fast immer vorhanden ist. Zahlreiche Kanäle verbinden Meer und Lagune, die sich grundsätzlich unterscheiden. „Die Unendlichkeit des Ozeans", sagt Darwin, „die Wut der Wellen im scharfen Gegensatz zur niedrigen Erhebung des Landes und zur Glätte des hellgrünen Wassers innerhalb der Lagune, kann man sich kaum vorstellen." Vor der nur 2—3 m hohen, aus losen Blöcken aufgeschütteten, 200—350 m breiten Insel liegt ein flacher Strandwall. Häufig werden die Koralleninseln durch Sturmfluten zerstört, anderseits sind sie schnell bewachsen und bilden gleichsam Oasen in der Wüste des Meeres (Tafel XXX).

E. Die Küsten.

Als letztes Kapitel aus der Morphologie des Landes haben wir die Küsten zu besprechen.

Wechselvoll, wie die Umrisse des Landes, sind die Küstenlinien, deren Verlauf und Ausbildung von dem Kampf zwischen Land und Meer und von dem Bau des Hinterlandes abhängt. Den Großformen der Küsten haben wir dann die Kleinformen anzuschließen, die gleichsam die feine Modellierung bedeuten.

In wie hohem Maße Gebirge die Küstenlinien beeinflussen, erkennen wir an der Westküste Amerikas, wo das große Faltengebirge mit seinen Biegungen den Verlauf der Küste bis ins einzelne bestimmt. Gleichsinnig ist die Richtung beider, und deshalb nennen wir solche Küsten konkordant. Auch auf der anderen Seite des Pazifiks haben wir eine konkordante Küste, wenigstens wenn wir die Außenküste Ostasiens in Betracht ziehen, die in Form von Inselbögen von den Aleuten bis nach Neuseeland zieht. Die hinter diesen Inseln von Festland gebildete Küste ist nur am Ochotskischen und Japanischen Meere konkordant. An anderen Stellen treten Flachland und ungeschichtete Massengesteine an das Meer heran: hier entsteht eine neutrale Küste. Südlich des Jangtsekiang finden wir wiederum ein Gebirge, das aber der Küste nicht parallel läuft, sondern sie in einem spitzen

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin

Abb. 404. Der Naeröfjord in Norwegen.
Die Fjorde sind unter den Meeresspiegel eingetauchte Talseen.

Winkel schneidet. Das Meer brandet also einmal gegen die Berge, ein anderes Mal bespült es Täler, und so entsteht das wechselvolle Bild einer diskordanten Küste.

Im Indischen und Atlantischen Ozean überwiegt die diskordante Küstenentwicklung. In Westeuropa streichen die Faltengebirge senkrecht oder schräg zur Küste, nur im nördlichen Norwegen haben wir Parallelität. Konkordant sind auch die Küsten der Adria und die Südküste des Schwarzen Meeres.

Nach der vertikalen Erhebung haben wir Steil-, Flach- und Strandküsten zu unterscheiden. Alle drei können bei der neutralen Küstenentwicklung auftreten; es ergeben sich aber im einzelnen zahllose Verschiedenheiten. Als Haupttypen der Detailformen wollen wir glatte und gebuchtete Küsten nennen. Wo die Küstenströmungen mit ihrer zur Küste parallelen Richtung vorherrschen, bilden sich glatte Küstenstrecken, wo die senkrecht auftreffenden Gezeiten überwiegen, entstehen vielfältige Einbuchtungen.

Geradlinige Küsten treten uns in der Steilküste der Normandie ebenso wie an der Flachküste der französischen Landes entgegen. Häufiger kommt die flachbogige Küste vor, wie sie für die deutsche Ostseeküste bezeichnend ist.

Die gebuchtete Küste kann auch durch positive Strandverschiebung (vgl. S. 243) entstehen; in dieser Weise bildete sich jedenfalls die französische Küste nördlich der Gironde, denn einige vorgelagerte Inseln sprechen für das Untertauchen des Landes. Die für Pommern und Mecklenburg bezeichnende Boddenküste ist als Übergang zwischen glatter und gebuchteter Küste aufzufassen. Das Meer hat hier große Er-

oberungen gemacht und alle flachen Landstrecken überschwemmt. Ein gutes Beispiel bietet die Insel Rügen, deren zerlappte Gestalt besonders auffallend ist, und die durch zahlreiche Bodden nicht nur randlich, sondern auch im Innern gegliedert ist, erreicht doch das Wasser des im Westen einströmenden Jasmunder Boddens beinahe die Ostküste. Bleiben Stücke des Festlandes erhalten, so entstehen Doppelküsten. So bildet die Halbinsel Darß und die benachbarte Insel Zingst eine glatte Außenküste, während sich das dahinter gelegene Festland durch eine sehr zerlappte Boddenküste auszeichnet. Die geringe Tiefe der Bodden und das Auftreten deutlicher Festlandsformen an ihrem Untergrunde deuten ebenfalls auf Überschwemmung durch das Meer hin.

Den Gegensatz zu den Bodden bildet die Haffküste der östlichen deutschen Ostsee. Auch hier sind Buchten vorhanden gewesen, die indessen durch die Strandversetzung (vgl. S. 325) glatt abgeschnitten worden sind. Das Haff wird vom Meere durch eine lange, schmale Nehrung abgetrennt, die nur einen schmalen Zugang offen läßt. Schließt sich dieser vollständig, so entsteht eine ganz glatte Küstenlinie, und die ehemaligen Haffe werden in Strandseen umgewandelt, wie sie in Hinterpommern häufig sind (Abb. 405).

Abb. 405. Kärtchen der Danziger Bucht mit Frischer Nehrung und Frischem Haff.

Den Haffküsten ähnlich sind die Lagunenküsten Italiens; die Lagune wird durch einen Lido von der offenen See geschieden. In Südrußland treffen wir die sog. Limane, bei denen die Buchten nicht wagerecht zur Küste, sondern senkrecht dazu gelagert sind.

Aus der neutralen Doppelküste kann sich die Wattenküste dadurch entwickeln, daß sich die die glatte Außenküste bildende Dünenkette in einzelne Inseln und Eilande auflöst. Das hinter den Dünen liegende, einst vor Überschwemmungen geschützte Land wird nur während der Flutzeit bedeckt und liegt während der Ebbe trocken. Die Wattenküste, wie sie für den Westen Jütlands bezeichnend ist, ist dem stärksten Kampf zwischen Wasser und Land ausgesetzt; zahlreiche Inseln, die sog. Halligen, können nur durch Deiche erhalten werden.

Auch die konkordante Küste kann geradlinig oder bogenförmig verlaufen. Ins Meer einmündende Flüsse können Ausbiegungen, Einbrüche tektonischer Art können Einbiegungen hervorrufen. Das Meer, das an eine Steilküste anbrandet, gleicht aber alle Zufälligkeiten wieder aus und bedingt schließlich stets eine ausgeglichene Küstenlinie.

Diese Ausgleichung läßt sich sogar an der diskordanten Küste, wenn auch in geringerem Maße, feststellen. Die diskordante Küste bietet das wechselvollste Bild dar: Klippen und Vorsprünge, Kaps und Felsenriffe wechseln mit seichten Strecken, mit flachen Buchten und tiefen Einschnitten ab. Beispiele typischer Küstendiskordanz finden sich in der Bretagne und im Umkreis des Ägäischen Meeres; an Hand von Karten gewinnt man bald eine treffendere Vorstellung von der Fülle der

Ein kleines Korallenatoll in der Südsee. (Nach einem Aquarell von Hans Steiner.)

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Phot. Dr. Stoedtner, Berlin.

Abb. 406. Moränensee in der Fortsetzung des Tales der Flensburger Förde.

Einbuchtungen und Vorsprünge, als sie eine trockene Aufzählung ermöglichen würde.

Eine besondere Eigenart mancher Küsten sind die tiefen Einschnitte, die nicht durch Meeresbrandung hervorgerufen worden sind, sondern durch Untertauchen eines Flußlaufes bzw. eines Landteiles. Sie finden sich besonders in Gebirgsküsten, und ihre bekanntesten Vertreter sind die Fjorde Norwegens und anderer Gebirgsländer. Das Meer dringt sehr weit ins Land ein, und es entsteht eine überaus lange Küstenlinie. So ist die Fjordküste Norwegens zwischen 61° und 62° nördlicher Breite 40mal so lang wie die glatte Küste sein würde.

Daß es sich bei den Fjorden wirklich um ertrunkene Flußtäler handelt, erkennt man besonders deutlich an dem norwegischen Lysefjord, der sich 41 km tief ins Land fortsetzt und nur 600—2000 m breit ist. Seine Wände ragen 950 m hoch und fallen fast senkrecht ins Wasser ab (Abb. 404). Andere Fjorde weisen dagegen sanfte Böschungen auf, und häufig erkennen wri Verzweigungen, die als die ertrunkenen Nebentäler anzusehen sind. In viele Fjords münden auch noch die Oberläufe der einst ins Meer mündenden Flüsse ein, und manchmal stehen mehrere miteinander in Verbindung, was dadurch zu erklären ist, daß auch die häufig sehr niedrigen Übergänge zwischen den einstigen Flußtälern vom Meere überschwemmt wurden. So entstanden Fjordstraßen, und die zwischen ihnen gelegenen Gebirgsreste wurden zu Fjordinseln. Der Boden der Fjorde ist wannenförmig und zumeist tiefer als am Ausgang; wir müssen also die Fjorde als untergetauchte Talseen ansehen, und zwar können mehrere Seenbecken nacheinander folgen, wie sich auch in den die Fjorde fortsetzenden Tälern noch heute bisweilen Seen finden.

Echte Fjordküsten sind auf höhere Breiten beschränkt. Wir finden sie in Norwegen, in Schottland und Nordwestirland, in Grönland, auf Neufundland und

Labrador und an der Westküste Nordamerikas. Auf der südlichen Halbkugel zeichnen sich die Westküste Patagoniens sowie die antarktischen Inseln durch Fjordküsten aus. Da sich Fjorde nur in der Region der diluvialen Vereisung finden, hat man der Eiswirkung einen bedeutsamen Anteil an der Bildung zugewiesen; aber auch Wassererosion und vielleicht tektonische Bruchzonen haben sicherlich mitgewirkt, um das einzigartige Phänomen zu schaffen.

Auf der schwedisch-finnischen Scholle findet sich eine den Fjorden ähnliche Küstenbildung. Zahllose schmale Einschnitte, die Fjärde, zerschlitzen das Festland, und die Küstenlinie ist in viele tausend Felseninseln, die Schären, aufgelöst. Sie sind jedenfalls durch das Inlandeis entstanden, und ebenso gehen die Förden Norddeutschlands auf eiszeitliche Verhältnisse zurück; es sind ertrunkene Randstücke der seenreichen Grundmoränenlandschaft (Abb. 406).

Tiefe Talbuchten treffen wir aber nun auch außerhalb des Glazialgebietes an, so in Cornwall, in der Bretagne und an den Küsten Corsikas und Galiziens (an der Nordküste Spaniens). Sie werden Rias genannt und ähneln auf den ersten Blick den Fjorden, unterscheiden sich aber von ihnen durch ihre geringere Ausdehnung und durch die allmähliche Abflachung ihres Bodens ohne Beckenbildung. Die Rias sind sehr vielgestaltig, treten aber nur an Steilküsten auf, während die schon genannten Limane Südrußlands Formen des Flachlandes sind. Auch diese sind ertrunkene Täler, die allmählich von den Sedimenten der in sie einmündenden Flüsse zugeschüttet werden.

Die Form der Küsten ist für die Entwicklung des Verkehrs von ausschlaggebender Bedeutung. Die Seeschiffahrt benötigt guter Häfen, in denen die Fahrzeuge gesichert vor Anker gehen können. Um aber den Seeverkehr zu ermöglichen, müssen die Küsten auch mit dem Hinterland, als dem Produzenten und Konsumenten der Waren, in günstiger Verbindung stehen. Wo dies nicht der Fall ist, nützt auch ein an sich guter Hafen sehr wenig.

Die konkordanten Küsten schließen nun das Hinterland von dem Meere ab; an ihnen konnte sich kaum ein starker Verkehr bilden. Die diskordante Küste schließt dagegen das Hinterland auf: von den Buchten aus führen bequeme Verbindungen durch die Täler ins Hinterland, und die Buchten selbst sind meist vortreffliche Ankerplätze, denn sie bieten Schutz vor hohem Wellengang und häufig auch geeigneten Ankergrund.

Der moderne Seeverkehr kann allerdings auf die natürlichen Verhältnisse nicht mehr Rücksicht nehmen; so ankern die Schiffe an vielen Küsten auf der Reede, d. h. vor der glatten Küste, oder es werden künstliche Häfen durch Kaimauern geschaffen.

Sehr günstige Häfen bilden die Fjord-, Fjärd-, und Riasküsten, ferner die Lagunen und Haffe. Bisweilen bilden Einbruchskessel an konkordanten Küsten vortreffliche Hafenplätze: S. Franzisko, Sidney, Rio de Janeiro sind Beispiele dafür (Abb. 407 und 408). Sehr häufig sind die sog. Mündungshäfen, die also an der Mündung größerer Ströme liegen; sie sind besonders dann brauchbar, wenn die Flüsse sich in breiten Trichtern ins Meer ergießen. Hamburg, London, Amsterdam verdanken den Ästuarien ihrer Ströme die große Handelsbedeutung.

Abb. 407. Hafen von Rio de Janeiro.
Vor dem Eingang liegt schützend ein Vorgebirge mit dem sog. Zuckerhut.

Außerordentlich selten ist aber der Fall, daß ein natürlicher Hafen alle Bedingungen erfüllt, die der Seeverkehr mit den Riesendampfern stellt. Der Mensch muß aufbauend und abbauend eingreifen und gestaltet das Bild der Küstenlandschaft dauernd in seinem Sinne um; er muß, um der Kultur zu dienen, häufig genug die Natur vergewaltigen.

Wir sind am Ende unserer Betrachtungen. Nachdem wir die Grundlagen unseres Planeten und seine Entwicklungsgeschichte besprochen haben, sind wir zur Schilderung der gegenwärtigen Verhältnisse übergegangen. Mit wenigen, groben Strichen haben wir die Züge im Antlitz der Erde umrissen und nach Möglichkeit versucht, gemeinsame Merkmale und verbindende Linien herauszuarbeiten. Lufthülle, Wasserhülle und festes Land waren die großen Gebiete dieser Betrachtung. Eines fehlt noch im Gesamtbild der Erde: das Reich des Lebens, das zu der Erde gehört genau wie die Luft- und Wasserhülle. Nur an wenigen Stellen tritt uns ja der nackte Fels, der entblößte Boden entgegen; zumeist ist er durch ein grünes Pflanzenkleid verhüllt. Die Pflanzen sind an den Boden gebunden, von seiner Beschaffenheit wie vom Klima durchaus abhängig. In weniger starkem Maße gilt dies für die beweglichen Tiere und für das Menschengeschlecht. Und doch sind die Beziehungen der Flora wie der Fauna zu der Erdoberfläche außer-

Abb. 408. Porto d'Ischia. Ein vortrefflicher Hafen, eigentlich ein alter, durch einen künstlichen Kanal mit dem Meere verbundener Kratersee. Im Hintergrund der Vesuv.

ordentlich innig; das erweist schon eine kurze Übersicht der verschiedenen Pflanzen- und Tierformen in den einzelnen Gebieten unserer Erde. Die Abhängigkeit der Pflanzen und Tiere vom Boden und vom Klima und ihre Verbreitung auf der Erde zu schildern, ist Aufgabe der Biogeographie, die ebenso vom Geographen wie vom Biologen gelöst werden kann, da sich biologische und geographische Fragen hier aufs innigste verbinden. Im Rahmen des Gesamtwerkes „Natur und Mensch" verweisen wir sie auf den zweiten Band, der sich ausschließlich mit dem Leben auf der Erde beschäftigt. Die geographische Verbreitung des Menschen, die Anthropogeographie, wird dagegen im dritten Band ihre Darstellung finden, und über die Wechselwirkung zwischen Bodenform und Mensch wird ein größerer Abschnitt im letzten Band von „Natur und Mensch" ausführlich handeln.

* * *

Regiſter

Abblaſung 246
Abdachungsflüſſe 470
Abdämmungsſeen 300, 472
Abflußloſe Gebiete 469
Abgegliederte Halbinſeln 471
Abiotiſches Zeitalter 334
Ablagerung 285
— des Gletſchers 313
Ablagerungsgeſteine 106
Ablation 282
Abplattung 90
Abraſion 477
Abraumſalze 136, 139
Acanthoceras 378
Acanthocladia 356
Acanthodes 346
Achat 135
Achtundvierzigflächner 113
Actinocamax 379
Adular 146
Aegoceras 374
Aëtosaurus 368
Agalmatolith 149
Agulhas-Strom 455
Alabaſter 145
Albert 78
Albit 147
Alcyer Meeresſand 388
Algonkium 335
Alkaliſche Quellen 267
Allochthon 183
Almandin 150
Alpine Trias 360
Alpiner Jura 373
Alpines Glazialgebirge 395
Alter der Schichten 333
Altertum der Erdgeſchichte 336
Altſteinzeit 404
Alttertiär 385
Altwaſſer 295
Amalgam 125
Amaltheus 374
Amethyſt 133
Ammonites 370, 372, 382
Amphibol 148
Amplitude der Temperatur 420
Ananchytes 379
Ancylus 401
Andeſin 147
Andeſite 169
Angegliederte Halbinſeln 476
Anhydriſche Periode 334
Anhydrit 144
Aniſiſche Stufe 366
Annullaria 352
Anorthit 147
Anthracosia 353
Anthrazit 180
Anthropogeographie 409
Antiapex 26
Antiklinale 193
Antizyklonen 422
Äoliſche Kräfte 246
— Sedimente 171
— Tiſche 248
Apatit 145
Apex 26
Aphel 417
Apiocrinus 374
Aquamarin 150
Aquarien 83
Äquatorialſtrömung 453
Aragonit 143
Araltlima 430
Arbeit des Waſſers 276
Archaeopteryx 373, 375
Archäiſche Geſteine 335
Archäozoiſche Geſteine 335
Archegosaurus 359
Archipel 477
Arietites 370, 372, 374
Armfüßer 338
Armorikaniſche Ketten 239
Armorikaniſches Gebirge 350
Arteſiſche Brunnen 263
Asbeſt 148
Aſche 204, 211
Aſiderite 97
Aſphalt 151
Aſphaltſchiefer 367
Aspidoceras 375
Asterocalamites 352
Asterolepis 346
Aſtrologie 6, 44
Äſtuare 317
Äther 10
Atlantik 437
Atlantiſche Strömung 454
Atlantosaurus 381
Atmoſphäre 414
Atolle 478
Aucella 369, 374
Aufſchüttungsebenen 460
Aufſchüttungsinſeln 477
Aufſchüttungsſeen 472
Aufſturzhypotheſe 74
Augite 148
Augitgranit 161
Ausbruchsgeſteine 106
Ausdehnung der Welt 14
Auslaugungsſeen 300
Ausſcheidungsſedimente 171, 177
Austiefungsſeen 300
Außenbürtige Kräfte 202
Autochthon 183
Avanturin 133
Auicula 367
Aviculopecten 353
Azoiſche Geſteinsgruppe 335
Azoiſches Zeitalter 334
Azorenplateau 437

Bad-Lands-Formen 461
Baltiſche Kreide 380
Baltiſcher Höhenrücken 399
Bänke 434
Barriereriffe 478
Baryſphäre 96
Baryt 144
Baſalte 169

Batholithe 468
Beauxit 170
Bebenwellen 449
Becken 435
Belemnites 370, 371, 372, 375, 382
Bellerophon 353
Belodon 368
Benguelastrom 453
Bergfeuchtigkeit 258
Bergflachs 148
Berggold 119
Bergkalk 349
Bergkork 148
Bergklima 420
Bergkrankheit 415
Bergkristall 132
Bergleder 148
Bergstürze 270, 292
Bergwinde 423
Bernstein 150, 386
Beryll 150
Bewohnbarkeit der Weltkörper 62
Bewölkung 424
Bezugssystem 11
Bimsstein 167
Binnendelta 297
Binneneis 314
Biogeographie 409, 484
Biolithe 179
Biotit 149
Biotitgranit 161
Birkenklima 432
Bittersalzquellen 267
Bitumen 150
Blackband 143
Blattgold 119
Blauerde 150
Blaugrund 127
Bleiglanz 128
Bleivitriol 144
Blindseen 473
Blizzard 423
Blocklava 223
Blockmeere 162
Blutstein 131
Bodden 435
Boddenküste 479
Bodegang 166
Bodeneis 302, 432
Bodenschwellen im Meer 434
Bohnerze 136, 387
Bohrlöcher 99, 100
Bohrsche Atomtheorie 15
Bolometer 49
Bolus 172
Bomben 204, 219
Bonebed 174, 365
Bora 423
Boraxseen 301
Boreale Klimate 432
Bos 403
Brachiopoden 338
Branchiosaurus 354, 359
Brandung 314, 448
Brasilienstrom 454
Brauneisenerz 125
Brauneisenstein 136, 166
Brauner Jura 372
Braunerden 255
Braunkohle 180, 182, 387, 390, 391
Breccien 174
Brillantform 127
Bronze 125
Bronzit 148
Bruch der Mineralien 116
Brüche 198
Bryozoenriffe 356
Buchenklima 432
Buchensteiner Schichten 366
Buchten 435
Buntkupfererz 130
Buntkupferkies 123
Buntsandstein 361
Buran 423
Buys-Ballotsches Gesetz 421

Calamarien 352
Calamites 352
Calceola 347
Caldera 209
Campiler Schichten 366
Caprina 381
Cardioceras 369
Cardiopteris 352
Cardita 386
Cephalopoden 343
Ceratites 360, 368
Ceratodus 346, 365, 368
Cerithium 386, 388
Cervus 403
Chalcedon 135
Chalkopyrit 130
Challengerrücken 437
Chamsin 423
Cheirolepis 346
Chirotherien 361
Chloritschiefer 185
Chromosphäre 51
Chrysolith 148
Chrysopras 134
Citrin 133
Clymenien-Schichten 347
Coccosteus 346
Coeloptychium 382
Cölestin 144
Compsognathus 373
Corbis 386
Coronaten 372
Cosmoceras 374
Cuprit 130
Cycadofiliceen 352
Cyclas 377
Cypridea 377
Cyrena 377
Cyrenenmergel 388

Dachschiefer 176
Dachsteinkalk 367
Dämmerung 41, 418
Dammriffe 478
Danien 381
Decken 240
Deflation 246
Deimos 69
Deistergebirge 377
Dejektionskegel 285
Deltabildungen 297
Depressionen 474
Destruktionsform 457
— der Faltengebirge 466
Devonformation 345
Diabase 169, 170
Diamant 126
Diamantglanz 117
Diatomeenerde 327
Diceras 370, 375
Dichroismus 117
Dichte der Erde 93ff.
Dichte Gesteine 154
Dichter Kalkstein 141
Dihexagonale Pyramide 113
Diluvium 392
Dimorphismus 118
Dinariden 241
Dinosaurier 368, 378
Dinotherium 389, 391
Diorite 163
Diplopora 327, 368
Dipnoer 346
Discina 338
Diskordante Küsten 479, 480
Diskordanz 402
Dogger 372
Dolinen 269
Dolomit 143
Doppelbrechung 117
Doppelküsten 480
Doppelspat 140
Doppelsterne 28
Doppelsternhaufen 34
Dornstein 138
Driften 447
Druckfestigkeit 157
Dünen 171, 249
Dunkles Rotgüldigerz 121

Dünnschliffe 153
Düngung 447
Dwyka-Konglomerat 357
Dyasformation 353

Ebbe 450
Ebenen 458
Ebenheiten 456
Echinoconus 378
Echinocorys 382
Echinosphäritenkalk 340
Echinosphaerites 342
Edelopal 135
Edeltopas 150
Eichenklima 432
Einbruchsmeere 436
Einfache Faltengebirge 462
— Gesteine 155
Eingesenkte Mäander 295
Einsteins Relativitätstheorie 5, 12
Einsturzbeben 234
Eintiefungsseen 472
Eisbedeckung des Meeres 444
Eisberge 445
Eisen 125
Eisenglanz 125, 131
Eisenkies 129
Eisenkiesel 133
Eisenmeteoriten 97
Eisenspat 125, 143
Eisfelder 445
Eismeer 437
Eisstein 139
Ekliptik 21
Elektrum 119, 121
Elemente 119
Emscher 378, 379
Encrinus 363
Endlicher Raum 12
Endmoränenzüge 399
Endogene Kräfte 202
— Seen 298
Endseen 473
Endverwachsung 462
Enstatit 148
Entropiesatz 14
Eocän 386
Eozoische Gesteinsgruppe 335
Epizentrum 235
Erbsenstein 142, 269
Erdähnliche Planeten 62
Erdbeben 228
Erdbebenherd 234
Erdbebenschwärme 230
Erdbebenwellen 101
Erdinneres 100ff.
Erdmond 71
Erdöl 151
Erdpech 151
Erdpyramiden 257
Ererbte Mäander 295
Ergußgesteine 159
Erikaklima 431
Erleuchtung der Atmosphäre 416
Eros 78
Erosion 282
— der Gletscher 309
Erosionsgebirge 460
Erosionszyklus 287
Erratische Blöcke 162, 396
Eruptivgesteine 106, 159
Erzgänge 121
Erzmittel 121
Espinalklima 430
Estheria 365
Euomphalus 353
Exogene Kräfte 202, 245
— Seen 298
Exogyra 382
Explosionen, vulkanische 219

Fackeln 52
Fahlerz 121, 130
Falkenauge 134
Falklandströmung 454
Fallen 192
Faltengebirge 461
Faltung 193
Faltungsbögen 462
Faltungsgebirge 238
Faltungsperioden 239
Farben des Meeres 439
— der Mineralien 117
Färbung der Gesteine 159
Fasergips 144
Fasertorf 182
Fastebene 289, 467
Fastinseln 476
Faulschlamm 181
Fazies 332
Feldspate 146
Felsenmeere 162
Fenestella 356
Fernbeben 235
Ferner 305
Festland 456
Fettglanz 117
Fettkohle 183
Fettquarz 132
Feuchttemperiertes Klima 431
Feuerkugeln 82, 84, 96
Feueropal 135
Feuerstein 134
Findlinge 162, 396
Firneis 303
Firnfeld 305
Fixsterne 25
Fixsternwelt 20
Fjärde 482
Fjorde 244, 481
Flachküste 479
Flachmoor 182
Flachmuldenflüsse 470
Flachschichtung 458
Fladenlava 223
Flammkohle 183
Fleckschiefer 165
Fließgeschwindigkeit des Wassers 274
Flint 134
Floridastrom 454
Fluidalstruktur 168
Fluorit 139
Flüsse 469
Flußdichte 469
Flußgebiete 469, 471
Flußpaare 470
Flußseen 473
Flußspat 139
Flut 450
Flutbrandung 451
Fluvioglaziale Bildungen 392
Flysch 388
Föhn 423
Förden 244
Formation 333
Frankenberger Kornähren 129, 355
Fraueneis 144
Freie Mäander 295
Fruchtschiefer 165
Fucoidensandstein 337
Fusulina 352
Fusulinenkalk 351
Fusus 386, 389

Gabbro 164
Gagat 183
Gangart 121
Ganggesteine 159
Ganoiden 346
Garbenschiefer 165
Gasnebel 36
Gault 378
Gebirge 458
Gebirgsbildende Vorgänge 238
Gegenströme 453
Gehängeflüsse 470
Gehängeschutt 254
Geiser 224
Gemäßigt warme Regenklimate 431
Gemeiner Quarz 133
Gemengte Gesteine 155
Gemengteile der Gesteine 154

Gemmen 135
Genetische Morphologie 456
Geocoroniumsphäre 414
Geodäsie 19
Geoid 93
Geosynklinalen 242
Geotherme Tiefenstufe 99
Geröllbänke 278
Gervillia 363
Geschichte der Erde 329
Geschiebemergel 171
Gestalt der Erde 89
Gestein 106
Gesteinskunde 152
Gewicht der Erde 95
Gewitterregen 424, 427
Gezeiten 450
Gips 144
Gipskeuper 365
Glasglanz 117
Glazialzeiten 392
Gletscher 305
Gletscherbach 309, 314
Gletschereis 303
Gletschergarten 309
Gletschermühle 309
Gletscherschliffe 396.
Gletscherschrammen 312.
Gletscherschwankungen 312
Gletschertäler 312
Gletschertische 309
Gletschertöpfe 309
Gletschertor 309
Gletschertrübe 314
Gliederung der Gebirge 464
Glimmer 148
Glimmerschiefer 185
Globigerinenschlick 142, 325
Glossopteris 354
Gneis 185
Gneisgranit 161
Gold 119
Goldberyll 150
Goldsilber 121
Goldtopas 133, 150
Golf 435
Golfstrom 454
Gondwanaland 361
Goniometer 111
Goniophyllum 342
Gräben 200
— im Meer 435
Gradmessungen 90
Granate 149
Granatoeder 149
Granite 160
Granitit 161
Granitpegmatit 161
Granulation 52
Granulit 161
Graphit 128, 180
Graptolithen 344
Grauerden 255
Graupelschauer 427
Grauwacke 175
Gravitationsgesetz 11
Griffelschiefer 176
Grobkalke 386
Grödener Sandstein 357
Grossular 149
Größe der Seen 474
Größte Tiefen 434, 437
Gründe 435
Grundeis 302
Grundlawinen 304
Grundwasser 257, 260
Grundwasserquellen 262
Gryphaea 370, 379
Gufferlinie 314
Guineastrom 453
Gyroporella 327, 367, 368

Haarsterne 78
Häfen 482
Haff 320
Haffküste 480
Hagel 427
Haidingersche Lupe 117
Haken 320
Halbflächner 112
Halbinseln 476
Halbopal 135
Halligen 480
Hallstätter Kalk 367
Haloidsalze 136
Halysites 342, 344
Hämatit 131
Hangendes 189
Hängetäler 312
Harmathan 423
Harnisch 202
Harpoceras 374
Härte der Mineralien 115
Härteskala 115
Harze 150
Haselgebirge 179
Hauptbuntsandstein 361
Hauptflüsse 469
Hauptkeuper 365
Hauptmuschelkalk 363
Hauptoolith 372
Hebungen 401
Hebungsinseln 477
Heiße Wüsten 430
Heliotrop 134, 135
Helix 402
Helvetische Decken 240
Hemiedrie 112
Hercyn 347
Hexagonale Pyramide 113
Hexagonales Kristallsystem 113
Hils 378
Himmelsphotographie 16
Hippurites 381
Historische Geologie 331
Hochgebirge 457
Hochmoor 182
Hochseen 473
Hochwasser 286, 450
Hof der Sonnenflecke 52
Höhenstufen 413
Hohlkehlen 316
Holoeder 112
Holz 180
Holzopal 135
Holzzinn 135
Homoseisten 235
Hornblende 148
Hornblendegranit 161
Hornfels 165
Hornstein 134
Horst 200
Höttinger Breccie 396
Hub 450
Hundsgrotte 223
Hungerquellen 265
Hunsrückschiefer 347
Hurrikan 422
Hyaena 403
Hyperion 59
Hypersthen 148
Hypozentrum 234
Hypsometrische Kurven 412

Ichthyosaurier 375
Iguanodon 378
Ikositetraeder 113
Indischer Ozean 437
Ingressionsmeere 436
Inlandeis 314
Innenbürtige Kräfte 202
Inoceramus 378, 382
Inseln 476
Intaglios 135
Interglazialzeiten 392
Intramerkurielle Planeten 75
Intumescens-Schichten 347
Inundationsfläche 286
Isobathen 411, 434
Isohypsen 411
Isomorphe Mineralien 118
Isoseisten 235
Isothermen 419
— der Meeresoberfläche 440

Japetus 60
Jaspis 134
Jet 183

Judenpech 151
Jungtertiär 389
Jupiter 56
Jupitermonde 57
Juraformation 368

Kainit 139
Kaledonische Faltung 239
Kalifeldspate 146
Kaliglimmer 148
Kalisalze 139
Kalkfeldspat 146
Kalksinter 142
Kalkspat 140
Kalte Klimate 432
Kalte Quellen 266
Kalzit 140
Kambrium 337
Kameen 135
Kammgebirge 456
Kammkies 130
Kanarienstrom 453
Kaneelstein 149
Kañon 284
Kantengerölle 248
Kaolin 147
Kaprubin 150
Karbonformation 349
Karbonische Faltung 239
Karfunkelstein 150
Karnallit 139
Karneol 135
Karneolonyx 135
Kare 312
Karnische Stufe 367
Karrenfelder 257
Karseen 300, 472
Karstgebiete 260
Kassiterit 135
Katzenaugen 133
Kees 305
Kegelberge 456
Keplers Weltbild 4
Keratophyre 168
Kesselbrüche 201
Kettengebirge 457
Keuper 364
Kieselgur 135, 327
Kieselschiefer 132, 134
Kieserit 139
Klamm 283
Kleine Planeten 77
Klima 427
Klimaprovinzen 427
Klingstein 168
Klippen 196
—, tektonische 241
Kluftwasserquellen 262
Knotenglimmerschiefer 165
Knotentonschiefer 165
Knottenerz 128
Kohlengesteine 179
Kohlenkalk 349
Kohlenkeuper 364
Kombination 110
Kometen 78
Kometentheorien 81
Konglomerate 175
Konkordante Küste 478
Konkordanz 202
Konstanz der Kantenwinkel 111
Kontakthof 154, 164
Kontaktmetamorphose 154, 164
Kontaktzone 154
Kontinentalböschung 412
Kontinentalinseln 477
Kontinentaltafel 412
Kontinente 411
Kopffüßer 343
Koprolithen 146
Koralleninseln 478
Korallenriffe 328
Körnige Gesteine 155
Körniges Aggregat 110
Korona 51
Korrosion 282
Korund 130
Kössener Schichten 367
Kotsteine 146
Krater 206
Kreide 142
Kreideformation 375
Kreuzschichtung 192, 361
Kristalle 109
Kristallflächen 110
Kristalline Schiefer 185
Kristallinisches Aggregat 110
Kristallklassen 112
Kristallsysteme 112
Kryolith 139
Kugelgranit 161
Kugelhaufen 34
Kupfer 123
Kupferglanz 123, 129
Kupferkies 123, 130
Kupferschiefer 123, 355
Kuppen 434
Kuppenberge 456
Kuro-Shio 454
Küsten 478
Küstenablagerungen 321
Küstenriffe 478
Küstenschlick 321
Küstenversetzung 320
Küstenwall 320

Labradorit 147
Labradorströmung 454
Labyrinthodonten 368
Ladinische Stufe 366
Lagunenküste 480
Lakkolithe 162
Landhalbkugel 410
Landklima 420
Landregen 424
Landstufen 457, 460
Landwind 422
Längsflüsse 469
Längstäler 464
Lapilli 204, 219
Laterit 173, 431
Laue Klimate 432
Laurentiusstrom 83
Lava 203, 222
Lawinen 303
Lawinenschutz 305
Lehm 147, 173
Leitfossil 333
Leoniden 83
Lepidophyten 352
Lepontinische Decken 241
Letten 173
Lettenkohle 364
Leuchtende Wolken 414
Leuchtkugeln 96
Leuzit 147
Lias 370
Libration 72
Lichtdruck 85
Lichtes Rotgüldigerz 121
Lichtwechsel der Sterne 30
Lido 480
Liegendes 189
Lignit 182
Lima 363, 374
Limane 480, 482
Limitentheorie 13
Lingula 338
Liparite 167
Lithographischer Kalk 142
Lithosiderite 97
Lithosphäre 96
Litoralablagerungen 321
Litorina 401
Lituites 343
Lokale Winde 422
London-Ton 386
Löß 173, 253, 401
Lößgebiete 459
Lößkindel 253
Lotabweichungen 92
Lotungen 434
Lückenkämme 469
Luftdruck 414
Luftfeuchtigkeit 424
Lufthülle 414
Lungenfische 346
Lydit 134
Lytoceras 368, 371, 375, 376

Mäander 293
Maare 206
Machairodus 389
Mächtigkeit 189
Macrocephalites 374
Magerkohle 183
Magma 105, 203
Magnesiaglimmer 149
Magneteisen 125, 166
Magnetit 132
Magnetkies 129
Makroseismisches Beben 229
Malachit 123
Malm 372
Mammut 403
Mandeln 168
Mareograph 433
Marienglas 144
Markasit 130
Marmolatakalk 367
Marmor 140
Mars 65
Marskanäle 17
Marsmonde 69
Masse 93ff.
Massenanziehung 10
Massengesteine 154
Mastodon 389, 391
Mastodonsaurus 365, 368
Mayers Gesetz von der Erhaltung der Energie 4
Meer 433ff.
Meere (Mond) 72
Meerengen 435
Meeresboden 437
Meeresbusen 435
Meeresräume 433
Meeresstraßen 435
Meeresströmungen 451
Meerschaum 149
Megalodus 347
Megalosaurus 378
Megatherium 403
Melaphyr 169, 170
Melonites 352
Mendeldolomit 366
Mergel 174
Merkur 70
Mesozoische Formationsgruppe 359 ff.
Messing 125
Metallglanz 117
Meteore 82
Meteoreisen 97, 132
Meteoriten 96
Meteorsteine 96
Mezquitklima 430
Micraster 378, 382
Microlestes 365
Mikroseismische Beben 229
Milchopal 135
Milchquarz 133
Milchstraßenproblem 32, 36
Mineralbildung 108
Mineralien 106
Mineralogie 107
Minette 372
Miocän 389
Mistral 423
Mittelalter der Erdgeschichte 359
Mittelgebirge 457
Mittelmeere 436
Mittlere Krustenhöhe 413
Molasse 388
Monat 72
Mondflut 451
Mondstein 146
Monoklines Kristallsystem 114
Monsun 422, 428
Monsunregen 424
Moore 476
Moosachat 135
Moränen 313, 392, 394
Morion 132
Mucites 347
Mukronatenschichten 379
Mulden 193
— im Meer 435
Murbrüche 278, 280
Muskovit 148
Muskovitgranit 161
Muschelkalk 362
Myophoria 363, 365, 366

Nagelfluh 175
Nahbeben 235
Natica 363
Natronfeldspate 146
Nautilus 343, 353, 359
Nebel 424
Nebelflecke 34
Nebelregen 424
Nebenflüsse 469
Nebenformen der Ammoniten 382
Nebenmeere 435
Nehrung 320, 480
Neogen 389
Neokom 378
Neolithikum 404
Neovulkanite 160
Neozoische Formationsgruppe 382
Nephrit 148
Neptun 12, 61
Neptunische Sedimente 171
Neptunisten 105
Neue Sterne 30
Neuropteris 352
Neusteinzeit 404
Neutrale Küsten 478
Neuzeit der Erdgeschichte 382
New red sandstone 365
Newtonsches Anziehungsgesetz 10
— Gravitationsgesetz 94
Niederschläge 424, 426
Niedrigwasser 450
Nipptide 450
Nodosenschichten 364
Nordisches Glazialgebiet 397
Nordpassattrift 453
Nordpazifikstrom 455
Norische Stufe 367
Normal-Null 434
Nothosaurus 365
Nubischer Sandstein 345
Nucula 363
Nummulites 386, 387

Oasen 265
Oberflächenfarbe 117
Oberflächengesteine 159
Oberlauf 288
Obsidian 167
Odontopteris 352
Oktaeder 110, 113
Old red 345
Oligocän 388
Oligoklas 147
Olivenklima 431
Olivin 148
Onyx 135
Oolithe 142, 372
Opal 134
Ophidioceras 343
Oppelia 375
Orbitolina 378
Ordovicium 340
Organische Gesteine 171
Orioniden 83
Ornaten 372
Orthis 342
Orthoceras 343
Orthocerenkalk 340
Orthoklas 146
Orthophyre 168
Ortsbeben 235
Ostalpine Decken 241
Ostaustralische Strömung 455
Ostpazifische Vulkane 227
Ostrea 363, 372, 374, 378
Oxyde 130
Ozeanische Periode 334
— Trias 365
Ozeanisches Delta 297

Packeis 445
Palaechinus 352

Palaeohatteria 359
Palaeoniscus 355
Paläogen 385
Paläolithikum 404
Paläovulkanite 160
Paläozoische Alpen 349
— Formationsgruppe 336
Paleocän 385
Paludina 377
Pampaslehm 403
Panspermie 85
Parallelenaxiom 9
Parasitärkegel 210
Pareiasaurus 359
Parkinsonia 374
Parsec 25
Partnachschichten 366
Passate 422, 428
Pässe 465
Paßseen 472
Pazifischer Ozean 437
Pechkohle 182
Pechsteine 167
Pechtorf 182
Pecopteris 352
Pecten 363, 374, 378
Pectunculus 388
Pegel 433
Pendel 89, 92
Peneplain 289, 467
Penninische Decken 241
Pentacrinus 374
Pentagondodekaeder 113
Penumbra 52
Perihel 417
Perisphinctes 375
Perlmutterglanz 117
Permformation 353
Petrographie 152
Petroleum 151
Phöbe 59
Phobos 69
Phonolith 168
Phosphate 145
Phosphorit 146
Photosphäre 50
Phyllit 185
Phylloceras 368, 375, 376
Physische Geographie 409
Pinacoceras 368
Pisolith 269
Plagioklas 147
Planetoiden 77
Planorbis 390
Plasma 135
Plateaugebirge 456
Plateauklima 420
Plateosaurus 365
Platin 125
Platysomus 355
Platzregen 424
Pleistocän 392
Plesiosaurier 375
Pleurodictyum 348
Pleurotoma 388, 389
Pleurotomaria 333, 374
Pliocän 390
Plutoniften 105
Plutonite 160
Pneumatolyse 166
Polarflecke 66
Polarlicht 418
Polyhalit 139
Porfido rosso antico 169
— verde antico 169
Porphyrische Gesteine 155
Porphyrite 169
Porzellanerde 147
Posidonia 353, 371
Prärienklima 430
Prasem 133
Präzession 11, 417
Preßtorf 182
Primäre Formationsgruppe 336
Productus 352, 355
Proterosaurus 359
Protuberanzen 51
Pteranodon 382
Pterodactylus 373
Pterosaurier 375
Ptychites 368
Pupa 402
Pyramidenwürfel 113
Pyrit 129
Pyritoeder 113
Pyrop 149
Pyroxene 148

Quadersandstein 379
Quadratenkreide 379
Quadratisches Kristallsystem 114
Quartärformation 392
Quarz 132
Quarzfreie Porphyre 168
Quarzit 132, 175
Quarzporphyre 167
Quecksilber 125
Quellen 261
Quellhorizont 264
Quellseen 473
Querflüsse 469
Quertäler 464

Raibler Schichten 367
Randmeere 436
Rangifer 403
Rapakiwi 162
Raseneisenerz 136
Rauchtopas 132, 150
Refraktor 15, 16
Regen 424
Reguläres Kristallsystem 113
Reif 424
Relativitätstheorie 12
Reliften 394
Requienia 375, 378, 381
Restberge 461, 467
Rhamphorhynchus 373
Rhät 365
Rhätische Stufe 367
Rhea 59
Rheinkiesel 132
Rhinoceros 389, 403
Rhombendodekaeder 113
Rhombisches Kristallsystem 114
Rhomboeder 114
Rhynchocephalen 359
Rynchonella 368, 372, 374, 382
Rias 482
Riesensterne 29
Riffe 435
Riffinseln 477
Ringnebel 36
Ringwall 209
Rinnen im Meer 435
Rippeln 250
Rogenstein 142
Rohsalz 138
Roller 448
Rosenquarz 133
Rosettenform 127
Röt 362
Rotationsellipsoid 90
Rote Erden 255
Roteisenstein 131, 166
Rötel 131
Roter Fleck 57
— Glaskopf 131
— Ton 326
Rotkupfererz 130
Rotliegendes 353
Rubin 130
Rücken im Meer 434
Rückengebirge 456
Rumpfflächen 466
Rumpfrestberge 466
Rumpfschollengebirge 466
Rundhöcker 309

Säkulare Hebungen und Senkungen 243
Salze des Meeres 438
Salzhorste 179
Salzlagerstätten 177

Salzquellen 267
Salzseen 301, 475
Salzwüsten 429
Sammelflüsse 470
Sammelstrom 470
Samum 423
Sandbänke 278
Sandsteine 175
Sanidin 147
Saphir 131
Sapropel 181
Sardonyx 135
Sargassosee 454
Sättel 193
Sattelkämme 465
Saturn 58
Saturnringe 59
Säuerling 224
Saumflüsse 470
Saumriffe 478
Savannenklima 429
Saxonische Faltung 240
Scalenoeder 114
Schachtelhalme 352
Schären 482
Schartenkämme 465
Scharung 462
Schauer 424
Schaukelwellen 449
Schelf 435
Schelfablagerungen 321
Schichten 189
Schichtköpfe 192
Schichtwasserquellen 262
Schilfsandstein 365
Schlagende Wetter 181
Schloenbachia 378
Schlotheimia 374
Schmarotzerkegel 210
Schmelzschupper 346
Schnee 427
Schneeeis 302
Schneegrenze 303
Schrattenfelder 257
Schuppenbäume 352
Schuttkegel 255, 285
Schwagerina 352
Schwammgold 120
Schwarzer Jura 370
Schwarzerde 173
Schwefel 126
Schwefeleisen 129
Schwefelkies 129
Schwefelkohle 182
Schwefelkupfer 129
Schwefelquellen 267
Schwerebestimmungen 94
Schwerspat 144
Seiches 449
Scirocco 423
Scythische Stufe 366
Sedimentführung 277
Sedimentgesteine 106, 171
Seebär 449
Seebeben 237
Seeklima 420
Seen 298, 471
Seewind 422
Seidenglanz 117
Seifen 119, 171
Seiser Schichten 366
Seismograph 234
Semionotus 368
Senfgold 120
Senon 378, 379
Séracs 307
Serpentin 148, 149
Serpentinasbest 149
Siderite 97
Sigillarien 352
Silber 120
Silbererze 121
Silberglanz 121
Silikate 146
Silurformation 339
Simoceras 368
Sklerometer 115
Smaragd 150
Smirgel 130
Solarkonstante 49
Solfatarenzustand 223
Solnhofener Plattenkalke 373
Solquellen 267
Sonne 48
Sonnenähnliche Planeten 56
Sonnenflecke 50
Sonnenflut 451
Sonnenschein 418
Sonnentemperatur 49
Spaltbarkeit 110, 116
Spalten der Gletscher 307
Spanischer Topas 150
Spateisenstein 143
Speckstein 149
Speerkies 130
Speisesalz 138
Spektroskop 27
Spektroskopie 55
Spezifisches Gewicht der Gesteine 95
— Gewicht der Mineralien 115
Sphenophyllum 352
Sphenopteris 352
Spiegelteleskop 15, 16
Spiralnebel 36, 37
Spirifer 352, 355
Spiriferensandstein 347
Spiriferina 363, 370, 374
Springtiden 450
Sprudelsteine 143, 269
Sprunghöhe 198
Sprungwellen 451
Staffelbrüche 200
Stahlquellen 267
Stalagmiten 270
Stalaktiten 270
Staubhosen 248
Staublawinen 303
Steilküste 479
Steinkohle 180, 183
Steinkohlenformation 349
Steinkohlenlager 350
Steinmeteoriten 97
Steinsalz 136
Stellarstatistik 32
Stephanoceras 374
Sternbeobachtung 16
Sternbilder 20
Sternentfernungen 24
Sternfarben 22
Sterngrößen 22
Sternhaufen 34
Sternnebel 36
Sternsaphir 131
Sternschnuppen 82, 96
Sternspektrum 24
Sterntriften 26
Sternverteilung 34
Sternweite 35
Sternzeit 21
Stettiner Sand 388
Stevensonsches Gesetz 421
Stichtorf 182
Stigmarien 352
Strandablagerungen 321
Strandküste 479
Strandseen 480
Stratigraphie 331
Stratosphäre 418
Streichen 192
Strich der Mineralien 117
Stringocephalus 347
Stromgebiet 469
Stromkammern 470
Stromschnellen 291
Stromstärke 275
Stromstrich 274
Strömungen 446
Stromversetzung 452
Strudellöcher 283
Strukturform 457
Sturmfluten 448
Sturzseen 447
Subtropenklima 431
Südäquatoriale Strömung 455
Südpassattrift 453
Sulfate 144
Sulfatquellen 267
Sümpfe 476

Sumpferz 136
Suspensionen der Flüsse 280
Süße Seen 475
Syenit 163
Sylvin 139
Symmetrie 111
Symmetrieachse 112
Symmetrieebene 111
Symmetriezentrum 112
Synklinale 193
Synthetische Edelsteine 131

Tabulaten 344
Tafelberge 456, 461
Tafelländer 458
Tagebau 155
Tageszeiten 416
Tag- und Nachtgleichen 417
Taifun 422
Talbildung 293
Talk 149
Talseen 473
Talwinde 423
Tau 424
Taunusquarzit 347
Tektonik 189
Tektonische Beben 234
Temperatur der Lufthülle 414, 418
Temperaturen des Meeres 440
Tenazität 116
Terebratula 362, 363, 368, 370, 373, 374, 379, 382
Terra de Siena 147
Terra rossa 174, 255
Terrassen 296
Tertiäre Faltung 239
— Gebirge 389
Tertiärformation 382
Tetartoeder 112
Tetraeder 112, 113
Tetragonales Kristallsystem 114
Tethys 242, 350, 360, 373, 376, 386, 389
Themis 59
Theodolith 19
Thermen 267
Tiefbau 155
Tiefbohrungen 98
Tiefe der Seen 474
Tiefengesteine 159
Tiefenstufen 413
Tiefland 457
Tiefsee 412
Tiefseeablagerungen 321, 324
Tigerauge 134
Titan 59
Tone 147
Toneisenstein 143
Tongesteine 172
Tonschiefer 176
Topas 150
Topfstein 149
Torf 180, 182
Toxaster 382
Trachyceras 368
Trachyte 168
Tragantklima 430
Transgression 202
Transgressionsmeere 436
Traß 168
Travertin 142, 268
Treibeis 302, 445
Tremadocian 340
Trematosaurus 368
Triasformation 360
Triglyphus 365
Trigonia 372, 374
Triklines Kristallsystem 114
Trilobiten 338
Tripel 135
Trochitenbänke 363
Trockenklimate 429
Trogkofelkalk 357
Tropfsteinbildungen 270
Tropische Regenklimate 428
Tropites 368
Troposphäre 414, 418
Trümmersedimente 171
Tsunami 237
Tuff 204, 207
Türkis 146
Turon 378

Übergangsklima 420
Überkippung 193
Überschiebungen 194
Überschiebungsdecke 196
Überspülungsmeere 436
Ullmannia 355
Umbra 147
Umlaufberge 296
Unebenheiten 456
Unerforschte Gebiete 410
Universalinstrument 19
Unterlauf 288
Uranus 61
Urgebirge 185, 335
Ursprüngliche Tafeln 477
Urstromtäler 400
Ursus 402, 403
Urtonschiefer 185
Urzeit der Erdgeschichte 335

Vaginatenkalk 340
Variscische Ketten 239
Variscisches Gebirge 350
Venus 64
Verbreitung der Seen 474
Verdunstung 424
Verkohlung 180
Verrucano 357
Vertikale Gliederung der Erde 411
Verwerfungen 198
Verwitterung 253
Viehsalz 138
Vindelizische Gebirge 360
Virginisches Klima 431
Vollflächner 112
Voltzia 358
Vulkanische Beben 233
— Berge 467
— Inseln 477
Vulkanismus 202ff.
Vulkanite 160, 166
Vulkanreihen 227

Wachstum der Kristalle 110
Wackelsteine 162
Walchia 354
Wäldertone 377
Walkerde 172
Wallriffe 478
Wärme des Erdkörpers 98
Warme Quellen 266
Wasser des Meeres 438
Wassereis 302
Wasserfälle 290
Wasserführung der Flüsse 275
Wasserhalbkugel 410
Wasserscheide 464, 469
Wattenküste 480
Wattenmeer 317
Wealden 377
Weißer Jura 372
Wellen des Meeres 446
Wellenbewegung 448
Wellenkalk 363
Weltraum 8
Wengener Schichten 366
Werfener Schichten 366
Werksteinbänke 363
Westpazifische Vulkane 227
Wetterbeständigkeit der Gesteine 162
Wettersteinkalk 367
Wieken 435
Wiesenerz 436
Winde 421
Windfurchen 250
Windhosen 248, 429
Windkantner 248
Windsysteme 421
Windtriften 452

Winkelmesser 111
Wintertrockenes Klima 431
Wolken 424
Wollsäcke 162
Würfel 110

Yoldia 400

Zanclodon 368
Zechstein 353
Zechsteinkalk 355
Zechsteinkonglomerat 355
Zellenkalke 363
Zenoman 378
Zenomane Transgression 376
Zentralmassiv 240
Zeolithe 146
Zeugenberge 248, 461
Zinkblende 128
Zinnober 125
Zinnstein 135
Zirruswolken 422
Zisternensteine 162
Zodiakallicht 75
Zonaler Aufbau der Gebirge 462
Zusammengesetzte Gebirge 462
Zwillingsbildungen 115
Zwillingsflüsse 470
Zwischenmeere 435
Zyklonen 422
Zyklus der Erosion 287

* * *

STECHERT&Co
(FRED HAFNER)
W YORK

UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 124866291